Guideline for Safe and Eco-friendly Biomass Gasification

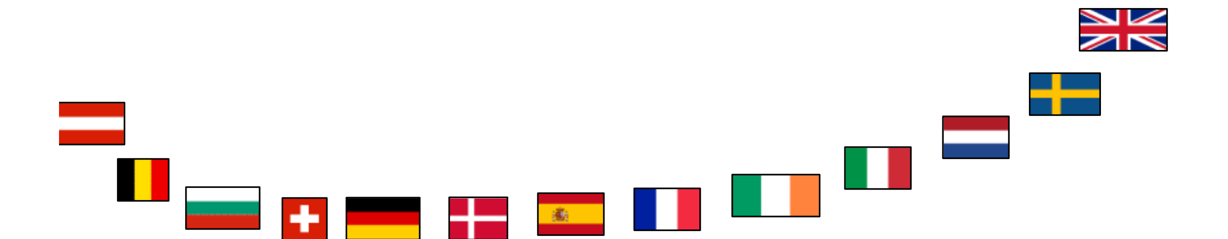


Version française

Novembre 2009

Ce projet est cofinancé par la Commission Européenne.





I. Préface

La gazéification de la biomasse est un procédé prometteur, ayant un fort rendement énergétique et qui contribue de façon significative à la production d’énergie renouvelable. Cette technologie doit aller de l’avant et est proche de l’étape de commercialisation mais son utilisation à grande échelle est retardée pour diverses raisons. Les experts en gazéification du monde entier ont considéré que les problèmes relatifs à la Santé, la Sécurité et l’Environnement (Health, Safety and Environment, noté HSE dans le présent rapport) constituent d’importantes barrières à la commercialisation de cette nouvelle technologie. Une mauvaise perception et un manque de connaissance de ces problèmes mènent dans certains cas à leur négligence, à des procédures longues et compliquées et parfois au simple abandon de l’initiative. Pour les mêmes raisons, les autorités ont tendance à imposer des mesures déraisonnables et coûteuses aux usines de gazéification. Un guide HSE largement accepté pourrait faire tomber cette barrière et ainsi contribuer au développement d’une technologie sûre et écologique.

Avec le soutient du programme "Intelligent Energy for Europe" (contrat n°EIE-06-078) une équipe internationale a développé une méthodologie d’évaluation des risques simple à appliquer. Ce guide, dont le but est d’œuvrer pour l’utilisation des "meilleures pratiques" assurant la sécurité des procédés de gazéification, constitue le principal résultat de ces travaux. L’équipe du projet "Gasification Guide" est convaincue que l’apport de conseils aux acteurs intervenant aux niveaux de la santé, la sécurité et l’environnement y contribuera.

L’évaluation des risques relatifs à la gazéification de la biomasse revêt une importance de plus en plus haute dans le monde entier. Il s’agit d’un moyen efficace pour identifier les risques liés aux procédés et déterminer les moyens les plus économiquement rentables pour réduire ces risques. Même si les constructeurs et exploitants d’usines de gazéification reconnaissent la nécessité de réaliser une évaluation des risques, la plupart d’entre eux n’ont ni les outils, ni l’expérience et ni les ressources nécessaires pour réaliser une analyse quantitative des risques.

Le présent guide est basé sur une méthodologie, un savoir scientifique et un bon sens généralement acceptés. Quand cela est possible, il fait appel à des paramètres mesurables issus des usines de gazéification existantes ou en phase de construction ou de développement. Il prend également en compte les pratiques des industries chimiques et pétrochimiques. Ce guide fournit une vue d’ensemble du sujet et n’est pas destiné à être complet sous tous les aspects. Certaines affirmations peuvent soulever des polémiques et sont ouvertes à la discussion. Nous vous serions reconnaissants de nous faire-part de vos remarques sur les éléments discutables.

L’existence d’un guide pratique sur la gazéification de la biomasse pourra apporter une aide à divers groupes cibles (constructeurs, opérateurs, scientifiques, autorités compétentes, consultants et investisseurs) quant à l’évaluation des risques HSE potentiels, à l’établissement de mesures HSE justes et raisonnables pour la réduction des risques.

Remerciements

Les experts du groupe consultatif sont remerciés pour leurs remarques et leurs suggestions pendant la préparation de ce document.

Des remerciements spéciaux vont à ceux qui ont contribués activement à l'écriture du guide, à travers les études de cas ou de par leurs réactions, commentaires ou suggestions.

L'équipe de ce projet désire exprimer leurs remerciements aux personnes suivantes qui ont contribué sur la base du volontariat au développement du guide et du logiciel :
Mr. Henrik Flyver Christiansen, Danish Energy Authority, Denmark
Mr. Gerhard Schmoeckel, Bavarian Environmental Agency (LfU), Germany
Mr. Des Mitchell, OGen Ltd, UK
Mr. Luis Sanchez, Eqtec, Spain
Mr. Frédéric Dalimier, Xylowatt, Belgium
Mr. Steve Scott, Biomass Engineering Ltd., UK
Mr. Thomas Otto, TOC, Germany
Mr. Jacques Chaineaux, Ineris, France

Le projet a été réalisé de Janvier 2007 à Décembre 2009 et a été conduit par une équipe composée des personnes suivantes :

1. Mr J Vos and H Knoef from the BTG biomass technology group, the Netherlands, **vos@btgworld.com**, **knoef@btgworld.com**, **www.btgworld.com**
2. Mr M Hauth, Institute of Thermal Engineering, Graz University of Technology, Austria, **martin.hauth@TUGraz.at**, **www.iwt.tugraz.at**
3. Mr U Seifert, Fraunhofer Institute for Environmental, Safety, and Energy Technology, UMSICHT, Germany, **ulrich.seifert@umsicht.fraunhofer.de**, **www.umsicht.fraunhofer.de**
4. Prof. Hofbauer and Mr M Fuchs, Institute of Chemical Engineering Vienna University of Technology, Austria, **fuchsm@mail.tuwien.ac.at**, **www.vt.tuwien.ac.at**
5. Dr L Cusco and L Véchot, Health & Safety Laboratory/HSE, United Kingdom, **Laurence.Cusco@hsl.gov.uk**, **www.hse.gov.uk/**
6. Mr T E Pedersen and RM Hummelshøj, COWI A/S Energy, Denmark, **TEP@cowi.dk**, **www.cowi.dk**
7. Prof. Ivan Ivanov, Safety and Environmental Engineering Laboratory (SEEL), Technical University of Sofia, Bulgaria, **ivec@tu-sofia.bg**, **www.tu-sofia.bg**
8. Subcontractor Umwelt + Energie, Mr R Buehler, Switzerland, **ruedi.buehler@udena.ch**
9. Subcontractor FEE, Mr E Oettel, Germany, **info@fee-ev.de**, **www.fee-ev.de**

II. Table des matières

III. Abréviations et Définitions

Abréviations

Anglais		Français	
ABV	Anti backfiring valve		Vanne anti retour de flamme
ALARP	As Low As Reasonably Practicable		Praticable dans la mesure du raisonnable
API	American Petroleum Institute		
ATEX	ATmosphères EXplosibles (French)	ATEX	ATmosphères EXplosibles
BAT	Best Available Technique		Meilleure technique disponible
BGP	Biomass Gasifier Plant		Usine de gazéification de biomasse
CEN	Comité Européen de Normalisation	CEN	Comité Européen de Normalisation
CHP	Combined Heat and Power		Installation de cogénération
COMAH	COntrol of MAjor accident Hazards		Équivalent de la réglementation Seveso II au Royaume-Uni
DS	Dansk Standard		Organisme de normalisation Danois
EC	European Community	CE	Communauté Européenne
EEC	European Economic Community	CEE	Communauté Économique Européenne
FMEA	Failure Modes and Effects Analysis		Analyse des modes de défaillance et des effets
FR	Fire Resistance		Résistance au feu
HAZID	HAZard IDentification		Identification des Dangers
HAZOP	HAZard and OPerability		
HSE	Health, Safety and Environment		Santé, Sécurité et Environnement
IC	Internal Combustion		
IPPC	Integrated Pollution Prevention and Control		Directive 96/61/CE relative « à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution »
INF	Informationshæfte (DK)- [Short note]		Livret d'information
O&M	Operation and Maintenance		Opération et maintenance
PI	Piping and Instrumentation		Schéma tuyauterie et instrumentation
PLC	Programmable Logic Controller	API	Automate Programmable Industriel
ppm	parts per million	ppm	Partie par million
PSV	Pressure Safety Valve		Soupape de sûreté
RA	Risk Assessment		Évaluation de risques
RP	Recommended Practice		Pratique recommandée
SIL	Safety integrity level		Niveau d'intégrité de sécurité
SME	Small and Medium Enterprises (KMU in German)	PME	Petites et Moyennes Entreprises
VDI	Verein Deutscher Ingenieure		Association des Ingénieurs Allemands

Définitions

Biomasse: matériau d’origine biologique, à l’exclusion de matériaux subissant des transformations géologiques et transformés en fossile. (Note: cette définition est la même que la définition de la biomasse dans CEN TC 335. La biomasse est la seule source de carbone non fossile)

Gazéification: conversion thermique de matières carbonées en un mélange gazeux composé de CO, H_2, méthane et hydrocarbures légers en association avec CO_2, H_2O et N_2 en fonction du procédé de gazéification en question.

Gaz de gazogènes (Producer gas) : mélange gazeux issu de la gazéification de matières organiques, comme la biomasse, à des températures relativement basses (700 à 1000ºc). Le gaz de gazogène est composé de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H_2), de dioxyde de carbone (CO2) et d'hydrocarbures comme le méthane (CH_4). Le gaz de gazogène peut être utilisé comme gaz carburant dans une chaudière, dans un moteur à combustion interne produisant de l'électricité ou dans une installation de cogénération (Combined Heat and Power). La composition du gaz peut être modifiée par le choix des paramètres de gazéification selon son utilisation en tant que gaz carburant ou en tant que gaz de synthèse.

Gaz de synthèse: mélange de monoxyde de carbone (CO) et d'hydrogène (H_2) issu de la gazéification à haute température de matériaux organiques comme la biomasse. Après l'étape de lavage du gaz, permettant d'en retirer des impuretés telles que le goudron, le gaz de synthèse peut être utilisé pour la synthèse de molécules organiques comme le gaz synthétique naturel (synthetic natural gas (SNG - méthane (CH_4)) ou les biocarburants liquides comme de diesel synthétique (via la synthèse de Fischer-Tropsch).

Écologique: relatif au maintient d'un environnement sain et à la protection des processus écologiques vitaux. Basé sur une connaissance approfondie et requiert ou mènera à des produits, procédés, développements, etc., qui sont en harmonie avec les processus écologiques fondamentaux et la santé de l'être humain.

Déflagration: phénomène d'explosion générant une onde de pression qui se déplace à une vitesse inférieure à la vitesse du son.

Détonation: phénomène d'explosion générant une onde de pression qui se déplace à une vitesse supérieure à la vitesse du son.

Marquage CE: un produit muni du marquage CE indique qu'il répond aux normes européennes de sécurité et de santé l'autorisant à être mis sur le marché. Des directives européennes énumèrent ces normes minimales. En apposant ce label à un produit, le producteur déclare que celui-ci répond aux normes de la législation européenne.

Zonage: les définitions "officielles" des zones 1, 2 et 22 selon la directive 1999/92/EC sont:

Zone 1 : Emplacement où une atmosphère explosive, composée d'un mélange d'air et de substances inflammables (sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard), est susceptible de se former occasionnellement en fonctionnement normal.

Zone 2 : Emplacement où une atmosphère explosive, composée d'un mélange d'air et de substances inflammables (sous forme de gaz, de vapeur ou de brouillard), n'est pas susceptible de se former en fonctionnement normal ou, si elle se présente néanmoins, elle n'est que de courte durée.

Zone 22 : Emplacement où une atmosphère explosive sous forme de nuage de poussières combustibles n'est pas susceptible de se présenter en fonctionnement normal, ou, si elle se présente néanmoins, elle n'est que de courte durée.

Note: Les catégories telles que "II2G" font référence à la qualité des équipements et ne doivent pas être confondues avec les zones de classification.

Termes pour "Autorisation" et "Déclaration"

Les termes officiels et les synonymes pour "autorisation (permis)" et "déclaration" (au regard des installations classées) sont listés ci-dessous pour les différents pays de l'Union Européenne.

Pays	Autorisation / Permis	Déclaration
Autriche	Bewilligung	
Belgique	permis (d'environnement) / (milieu) vergunning	déclaration / aangifte
Bulgarie		
Danemark	godkendelse	anmeldelse
France	autorisation	déclaration
Allemagne	Genehmigung, Erlaubnis, Bewilligung, Zulassung	Anzeige, Anmeldung
Irlande	licence, permit, permission	
Italie	autorizzazione	comunicazione
Pays Bas	vergunning (wet milieubeheer)	aangifte
Espagne	autorización	notificación
Suède	tillstånd	anmälan
Suisse	Bewilligung, (Plan-) Genehmigung	Anzeige, (Emissions-) Erklärung
Royaume Uni (Angleterre et Pays de Galles)	authorisation, permit, license, (planning) consent	notification, déclaration

1 Introduction

1.1 Objectif

L'objectif du projet "Gasification Guide" est d'accélérer la pénétration du marché des systèmes de gazéification de la biomasse de petite échelle (< 5 MW) par le développement d'un Guide, d'un outil logiciel permettant une évaluation simple et facile des risques HSE ainsi que de recommandations pour franchir les barrières.

Le guide peut être aussi utilisé pour la modification ou la conversion de centrales thermiques âgées dans les pays de l'Europe de l'Est, riches en en ressources de type biomasse, en nouvelles usines de gazéification.

L'objectif de ce document est d'assister les groupes cibles lors de l'identification des dangers potentiels et la réalisation d'évaluation de risques. L'outil logiciel constitue une aide supplémentaire à l'évaluation des risques.

1.2 Groupes cibles

Pendant le cycle de développement et d'implémentation d'une usine de gazéification de biomasse, différentes organisations, instituts, industries et/ou entités privées sont impliquées à certaines étapes. Les intervenants incluent : développeur de projets, ingénieurs, autorités de régulation, autorités en charge de la délivrance d'autorisation, investisseurs, consultants, constructeurs et opérateurs. En principe, tous appartiennent aux groupes cibles. De plus, les membres des communautés accueillant une usine et les décideurs politiques peuvent aussi jouer un rôle clé.

Les vues et les besoins de ces groupes cibles concernant la technologie de gazéification peuvent être différentes. Dans certains cas, il peut même y avoir des conflits d'intérêts entre les membres des groupes cibles, par exemple entre l'utilisateur final et l'autorité en charge de la délivrance de permis. Il existe plusieurs groupes cibles majeurs pour la mise en oeuvre et la commercialisation de cette technologie :

- Constructeurs,
- Opérateurs, techniciens et propriétaires d'usines,
- Autorités en charge de la délivrance de permis,
- Investisseurs ou conseillers des investisseurs, et
- Spécialistes en santé, sécurité et environnement (spécialistes HSE)

1.3 Champ d'application du guide

Ce guide se veut être un outil d'apprentissage et une ressource documentaire pour les employeurs et les employés pour la conception, la construction, l'exploitation et la maintenance des usines de gazéification de biomasse. Le champ d'application de ce guide est limité par les éléments suivants :

- Il a été décidé que la taille maximale des usines traitées par ce guide est d'environ 1 MW_e. La raison en est que les plus grosses entreprises ont normalement des normes de sécurité déjà mise en place;
- Cela signifie que le guide s'adresse uniquement aux gazogènes à lit fixes. Cependant, la plupart des chapitres de ce guide sont également valides pour

d'autres types de gazogènes ou même d'autres types de procédés de conversion thermique.
- L'utilisation de biomasse contaminée (déchets) ne s'inscrit pas dans le champ d'application de ce guide.

La technologie de gazéification de la biomasse est assez complexe et les usines de gazéification doivent se conformer à diverses directives Européennes et réglementations nationales. Les différentes étapes du procédé et les aspects HSE dans une usine de gazéification typique sont illustrés sur la figure 1.1. Chaque étape du procédé doit être considérée avec attention au regard des dangers HSE pendant les étapes de planification, ingénierie, construction et fonctionnement. Dans ce guide, une attention moins importante a été portée aux moteurs à gaz, ces derniers étant disponibles sur le marché avec certification CE et Déclaration de Conformité.

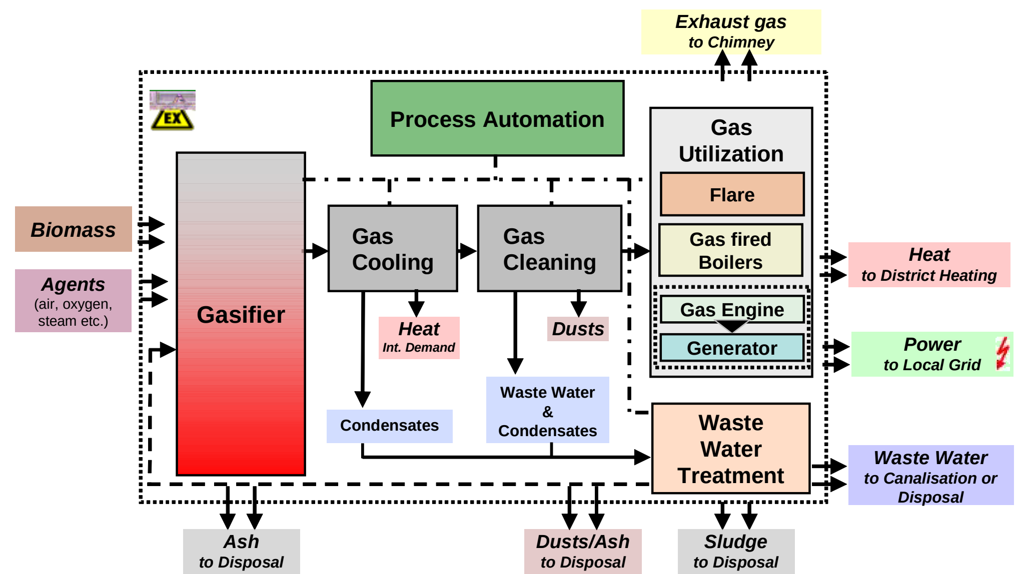


Figure 1.1 : Aspects Santé, Sécurité et Environnement à considérer dans une usine de gazéification de biomasse

Dans ce guide, les étapes et les composantes du procédé de gazéification suivantes sont traitées :
- Stockage et manutention du combustible sur site
- Transport du combustible et alimentation
- Réacteur de gazéification (gazogène)
- Conditionnement du gaz (lavage et refroidissement)
- Utilisation du gaz (moteur à combustion)
- Automatisation et contrôle
- Auxiliaires et équipements

1.4 Lecture du guide

Le guide comprend quatre chapitres majeurs qui peuvent être lus séparément sans avoir connaissance des chapitres précédents.

Le chapitre 2 donne brièvement une description générale de la technologie de gazéification.
Le chapitre 3 offre une vue d'ensemble des principaux problèmes relatifs aux cadres légaux pour la délivrance de permis et l'exploitation de l'usine. Ces cadres légaux

connaissant une évolution, la description donnée dans ce guide est basée sur la situation actuelle.
Le chapitre 4 explique la théorie sur laquelle sont basées les méthodes d'évaluation de risques et les mesures de réduction de risques.
Le chapitre 5 constitue le cœur de ce guide et donne des exemples pratiques relatifs aux principes de conception, de fonctionnement et de maintenance de l'usine.
Le chapitre 6 décrit les meilleures techniques actuellement disponibles utilisées dans les usines de gazéification de biomasse pour la réduction d'émissions.

Les informations suivantes peuvent être téléchargées sur le site internet du projet, **www.gasification-guide.eu** :

1. Logiciel "Risk Analyzer" pour une évaluation facile des risques dans les usines de gazéification de biomasse. Le logiciel est en JavaScript. Le manuel d'utilisation associé peut également être téléchargé.
2. Checklist pour permettre aux autorités en charge de la délivrance de permis de réaliser une évaluation rapide des risques.
3. Plusieurs rapports complets qui sont des produits délivrables du projet.

2 Description de la technologie

2.1 *Introduction*

Ce chapitre fournit une rapidevue d'ensemble des différentes étapes du procédé de gazéification mises en œuvre dans les usines de gazéification de biomasse (Biomass Gasification Plant, nommée BGP dans ce guide). Il constitue une version condensée d'un rapport sur la description de la technologie de gazéification (produit livrable *Deliverable 8: Biomass gasification – State of the art description)*, où une description plus détaillée est réalisée sur les points suivants :

- Informations générales (ex. bases de conception, informations sur les émissions d'usines, etc),
- Détails de la technologie (ex. description fondamentale de la technologie de base),
- Problèmes majeurs relatifs à la santé, la sécurité et l'environnement.

La gazéification de la biomasse couplée à un moteur à gaz convient particulièrement à l'utilisation décentralisée de la biomasse et à la production d'électricité par cogénération de haute efficacité. La figure 2.1 présente un diagramme simplifié d'une usine de gazéification avec ses principaux composants, ce qui permet de décrire et de classifier le procédé.

L'alimentation du réacteur de gazéification en combustible est normalement réalisée à travers une ouverture étanche au gaz (air) (à l'exception des gazogènes ouverts) grâce à un système de convoyage adapté. La conversion du combustible en gaz de gazogènes a lieu dans le réacteur de gazéification, où sont réalisées les étapes de conversion thermochimiques de séchage, de pyrolyse, d'oxydation partielle, de réduction ainsi que de formation de cendres. Pour des unités relativement petites – dans le champ d'application de ce guide – l'air est normalement utilisé comme agent de gazéification.

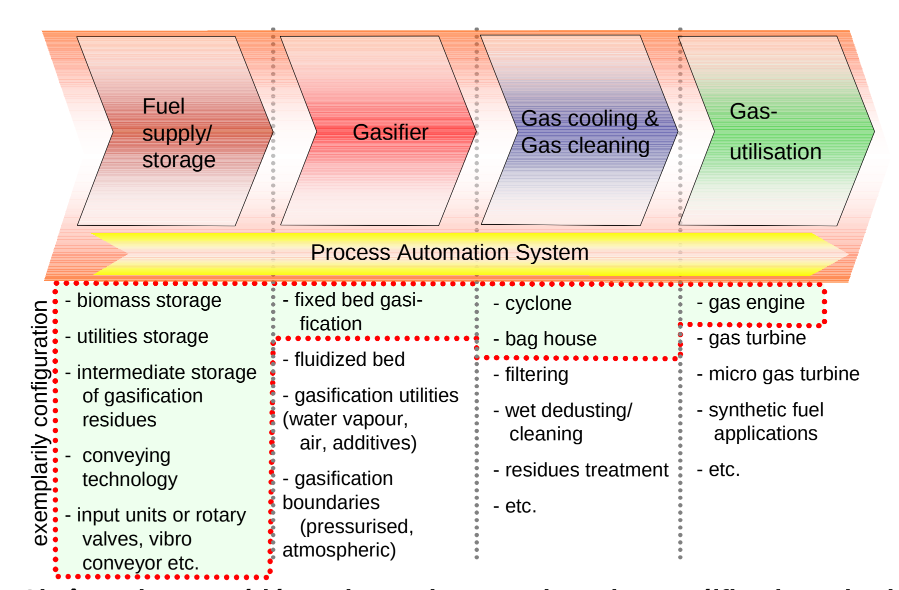


Figure 2.1: Chaîne de procédé typique d'une usine de gazéification de biomasse en cogénération

Le gaz de gazogène quitte le réacteur à température élevée (600-800 °C) avec un pouvoir calorifique et une quantité de polluants donnés. Dans les étapes suivantes

du procédé, la chaleur sensible contenue dans le gaz de gazogène peut être utilisée pour les besoins du procédé lui-même tels que le séchage du combustible ou pour les besoins en chauffage des installations à proximité (habitations…). Diverses techniques de lavage et de refroidissement du gaz de gazogène demandent à ce que celui-ci soit soumis à un séchage (à chaud) et/ou une épuration par voie humide pour obtenir les spécifications requises par le moteur à gaz. Remarque : dans le cas d'une épuration par voie humide, il arrive souvent que cette chaleur sensible ne puisse pas être utilisée.

Pendant le fonctionnement d'une usine de gazéification, il existe un important niveau de danger associé à la production et la consommation d'un mélange de gaz potentiellement explosif, toxique et combustible. Le gaz de gazogène et les résidus (cendres, liquides, effluents gazeux) peuvent présenter les dangers/risques suivants :
Le gaz de gazogène et ses résidus (cendres, liquides et gaz d'échappement) peuvent présenter les dangers/risques majeurs suivants :

- Explosion et/ou incendie
- Dommages à la santé humaine (empoisonnement, suffocation, bruits, surfaces chaudes, incendie et explosion)
- Pollution de l'environnement et des environs de l'usine

Des mesures appropriées doivent être prises pour contrer ces effets nuisibles. Ces mesures seront nécessaires pour se conformer aux conditions préalables à l'introduction réussie sur le marché d'une technologie de gazéification de la biomasse à la fois sûre et écologique.

2.2 Stockage, pré-traitement, transport et alimentation du combustible

Le stockage, le pré-traitement et le transport du combustible peuvent avoir une influence sur la qualité du combustible (ex. séchage pendant le stockage), ainsi que sur le procédé de gazéification (qualité du gaz de gazogène, la chaleur et la puissance produite, etc.). Le combustible est normalement stocké séparément dans un bâtiment adjacent au bâtiment abritant le gazogène. Dans la plupart des cas, le choix de la taille du bâtiment de stockage se fait en fonction de la capacité à maintenir l'usine en fonctionnement pendant deux à trois jours (prise en compte du week-end) sans livraison de combustible. Le combustible est transporté du bâtiment de stockage à la section de prétraitement. Les principales technologies disponibles pour satisfaire les besoins des systèmes de gazéification sont les technologies de séchage, de dimensionnement ou de compactage, dépendant de l'origine de la biomasse. Après le prétraitement, le combustible peut être transporté vers une trémie (bunker) de stockage quotidien. Les moyens de transport et de convoyage les plus communs sont les transporteurs à vis et les courroies transporteuses. Le combustible est ensuite transporté de la trémie de stockage (bunker) vers le système d'alimentation du réacteur, qui est souvent équipé d'un système de dosage. Le convoyeur du combustible peut avoir des fonctions intégrées telles que criblage, ceinture magnétique, extraction de contaminants et de corps étrangers et système de séchage. L'alimentation elle-même est habituellement réalisée grâce à un transporteur à vis à vitesse variable et une trémie à sas à double organe de fermeture ou une vanne rotative.

Un aspect important de l'étape d'alimentation consiste à éviter toute fuite de gaz de la section d'alimentation et/ou l'entrée d'air. Des systèmes anti-retour de flamme peuvent être utilisés ou une purge au gaz inerte peut être réalisée pour éviter le risque de formation d'atmosphère explosive. La séparation physique du stockage de combustible et du gazogène peut également minimiser les risques potentiels d'incendie.

2.3 Combustibles auxiliaires et équipements

L'utilisation de certains combustibles/milieux auxiliaires et équipements peut être requise pendant le fonctionnement et les opérations de maintenance pour assurer un fonctionnement stable de l'usine. Quelques exemples sont donnés dans le tableau 2.1.

Tableau 2.1: Exemple de milieux auxiliaires

Milieu	Fonction
Gaz naturel / Gaz propane	Allumage auxiliaire, ex. mis en marche
Biodiesel	Allumage auxiliaire, moteur à gaz à injection pilote
Huiles d'origine biologique	Lubrifiants, émulsions de lavage
Azote	Fluide d'inertisation, Fluide de purge
Eau, Vapeur d'eau	Agent gazéifiants, fluide de refroidissement
Air et Air comprimé	Agent gazéifiant, Fluide pour systèmes d'actionnement
Électricité	Surpresseurs, convoyeurs, ventilateurs, etc.

2.4 Réacteur de gazéification

La conversion thermochimique de la biomasse solide en gaz de gazogène brut a lieu dans un réacteur de gazéification (gazogène). À petite échelle, les gazogènes de type contre courant ou co-courant sont le plus souvent utilisés, voir la figure 2.2. La séquence des étapes de conversion de la biomasse, à savoir séchage, pyrolyse, oxydation partielle et réduction, dépendent du type de gazogène. Récemment, des approches conceptuelles ont été développées et mises en œuvre dans lesquelles les différentes zones (étapes) sont physiquement séparées, principalement pyrolyse et oxydation partielle. La raison principale de cette séparation est l'optimisation de chaque étape et la réduction de la production de goudron. À la sortie du gazogène, le gaz contient les produits désirés et les sous-produits :

- Produits désirés : gaz permanents (H_2, CO, CH_4, CO_2, N_2) et cendres contenant une faible quantité de résidus carbonés
- Produits non désirés : particules, poussières, suie, polluants inorganiques (métaux alcalins) et organiques (goudrons ou hydrocarbures aromatiques polycycliques)

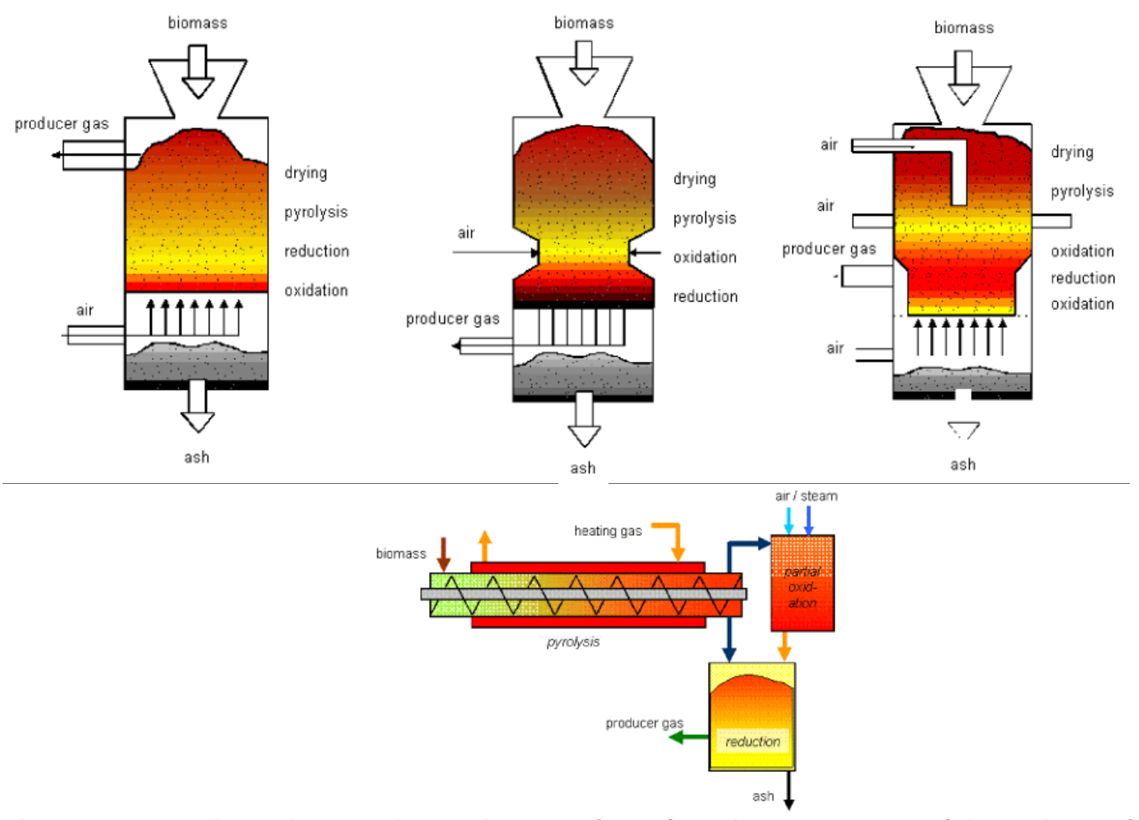


Figure 2.2: Configurations typiques de gazogènes à petite et moyenne échelle (gazogènes à tirage par le haut, à tirage par le bas, « double fire », à deux étages)

2.5 Refroidissement du gaz

Le but du refroidissement du gaz est de diminuer la température du gaz à un certain niveau pour permettre :

- le traitement du gaz de gazogène (par ex. le nettoyage du gaz par utilisation de filtres à manches),
- l'utilisation du gaz de gazogène dans un moteur à gaz ; le refroidissement permet l'augmentation de la densité d'énergie du gaz.

Il est recommandé de récupérer la chaleur sensible du gaz pour alimenter en énergie:

- le procédé lui-même (production de vapeur, énergie de vaporisation, etc.),
- les installations à proximité (habitations …).

En fonction de la configuration du procédé, illustré sur la figure 2.1, la température du gaz de gazogène peut être diminuée à différentes étapes (tableau 2.2).

Tableau 2.2: Exemples de niveaux de température typiques fournis par le refroidissement du gaz

Gamme de température	Étape du procédé
600-800 °C	cyclone, filtre céramique
90-250 °C	Filtres en tissu
90-400 °C	Lavage du gaz (scrubber), refroidissement final
Proche de l'ambiante	Moteur à gaz

Remarque : dans le cas où des filtres à manche en tissu sont utilisés, la présence de goudron et le point de rosée de l'eau doivent être pris en compte. Le point de rosée correspond à la température à laquelle la vapeur commence à se condenser. Ce

phénomène doit être évité car il peut entraîner l'obstruction des filtres et par conséquent une chute de pression plus importante.

2.6 Lavage du gaz

Le lavage de gaz est requis pour satisfaire les spécifications choisies par les constructeurs de moteur à gaz, même sous des conditions variables tels que le débit de gaz, la composition du gaz, le degré de contamination, etc. Les principaux contaminants contenus dans le gaz de gazogène sont des particules de matière (suie, poussières) et du goudron. D'autres impuretés peuvent être présentes telles que l'ammoniac (qui sera converti en NO_x dans le moteur à combustion), HCl, H_2S, alcalins, et acides, tous dépendants des caractéristiques du procédé, du combustible et du type de gazogène. Les dispositifs de lavage de gaz secs et/ou humides suivants sont utilisés (ou une combinaison) :

- Cyclone - dépoussiérage primaire (précédent le refroidissement du gaz)
- Filtres à gaz chaud - dépoussiérage de poussières fines (précédant le refroidissement du gaz)
- Filtres à manche - dépoussiérage de poussières fines (suivant le refroidissement du gaz)
- Autres filtres (filtres à lit de sable, lit à charbon actif)
- Scrubbers – retrait du goudron et des poussières par un milieu liquide (eau, huile, émulsion)

2.7 Utilisation du gaz

Ce guide est destiné aux usines de gazéification de petite échelle produisant de la chaleur et de l'électricité (cogénération). L'utilisation de moteurs à combustion implique un conditionnement du gaz issu de la biomasse, les paramètres requis étant déterminés au préalable par les spécifications du moteur (température quasi constante du gaz de gazogène, pouvoir calorifique suffisant, degré de pureté, humidité et pression d'alimentation du moteur). Les moteurs à combustion sont des produits commerciaux, ce qui signifie que le constructeur de gazogène doit se conformer aux normes requises par le fournisseur de moteur à combustion. Il existe quelques cas connus pour lesquels les fournisseurs de moteur à combustion ont adapté ceux-ci à l'utilisation de gaz de gazogène issus de la biomasse.

Les problèmes HSE les plus importants qui doivent être considérés ici sont les effluents gazeux. Les produits de la combustion incomplète du gaz de gazogène ou du phénomène de "gas slip" (majoritairement CO et C_xH_y) ainsi que les produits issus des réactions entre l'azote (de l'air ou du combustible) et l'oxygène de l'air (formant des NO_x) nécessitent l'utilisation d'un système secondaire de traitement de gaz pour atteindre les valeurs limites d'émission. Les dispositifs intégrés aux moteurs pour minimiser la concentration de polluant dans les effluents gazeux sont en effet insuffisants. Le traitement des gaz par des techniques diverses faisant appel aux convertisseurs catalytiques ou aux techniques de post-combustion, qui garantissent la conformité aux valeurs limites d'émission, est en principe possible. Les données sur efficacité à long terme et la durée de vie des convertisseurs catalytiques ne sont pas disponibles de nos jours. Leur durée de vie dépend considérablement des poisons catalytiques (métaux lourds, substances alcalines, etc.) qui réduisent en partie, et très rapidement, l'activité de la couche de catalyseur.

2.8 Lavage de l'effluent gazeux (gaz d'échappement)

Suivant les spécifications en matière d'émission de gaz, l'effluent gazeux doit être exempt de grandes quantités de CO, C_xH_y, NO_x ou de particules. L'abondance de ces derniers est dépendante du niveau d'oxygène dans l'effluent gazeux. Certains moteurs fonctionnent avec un mélange pauvre, correspondant à une quantité d'oxygène relativement élevé, pour réduire l'émission de CO.
Il existe très peu de données détaillées sur la composition des effluents gazeux. La concentration de benzène (C_6H_6) est récemment apparue comme étant problématique mais aucune solution n'a encore été apportée.

2.9 Propriétés du gaz de gazogène relatives aux aspects HSE

2.9.1 Composition et propriétés physiques caractéristiques du gaz

Les gazogènes de petite échelle utilisent en général l'air comme agent de gazéification. La composition du gaz de gazogène correspondant est donc différente de celles du biogaz et du gaz naturel. Les principales caractéristiques du gaz de gazogène sont présentées dans le tableau 2-3.

Tableau 2.3: Comparaison des caractéristiques du gaz de gazogène, du biogaz et du gaz naturel

Paramètre	Gaz de gazogène	Biogaz	Gaz naturel
CO (vol %)	12-20	<1	<0.5
H_2 (vol %)	15-35	<1	<0.5
CH_4 (vol%)	1-5	50-75	90-99
CO_2 (vol %)	10-15	20-50	<1
N_2 (vol%)	40-50	<1	<1
Pouvoir calorifique (MJ/Nm^3)	4.8-6.4	18-26	35
Limite explosive (vol%)	5-59	8-18	4.5-15
Ratio air/gaz	1.1-1.5	5-7.5	10

2.9.2 Niveaux d'explosion et pression

L'analyse des gaz présentée ci-dessous provient d'une usine de gazéification à deux étages. La première étape est l'évaporation et la pyrolyse de copeaux de bois par chauffage indirect. La deuxième étape est la pyrolyse de gaz par chauffage direct via des produits de combustion.

Tableau 2-4 : Un exemple des niveaux d'explosion et de pressions :

Composition du gaz	Gaz de pyrolyse (1ère étape)	Gaz de production (2nde étape)
CO_2 (mole/mole)	0.15	0.13
CO (mole/mole)	0.15	0.09
H_2O (mole/mole)	0.46	0.29
H_2 (mole/mole)	0.13	0.22
CH_4 (mole/mole)	0.07	0.01
N_2 (mole/mole)	0.00	0.23
Goudrons (mole/mole)	0.04	0.02
Masse molaire (kg/kmol)	24.3	22.3
Combustion stœchiométrique mole air/ mole gaz	3.00	1.59
Limite Inférieure d'explosivité – LIE	0.104	0.12
Limite Supérieure d'explosivité - LSE	0.395	0.62
Pression de déflagration (température initiale de 15°C) (barg)	6.6	6.1
Température de flamme (température initiale de 15°C) (°C)	1695	1575
Pression de déflagration (température initiale de 500°C) (barg)	3.4	2.5
Température de flamme (température initiale de 500°C) (°C)	2480	1820

2.10 Automatisation et contrôle

Dans les conditions économiques actuelles, une usine de gazéification se doit être pleinement automatisée, permettant ainsi un fonctionnement sans intervention humaine. Une automatisation totale présente l'avantage de permettre l'insertion de procédures de sécurité dans le système de contrôle automatisé. De manière générale, toute usine a recours à des systèmes d'automatisation et de contrôle. Pour les installations de petite échelle, ces systèmes sont relativement coûteux. Les dispositifs suivants sont le plus souvent automatisés :

- Alimentation en combustible (contrôleur de vitesse de rotation, ou ouverture de vanne)
- Niveau du combustible dans le gazogène
- Alimentation en oxygène du gazogène (lié à l'alimentation en combustible)
- Séquence de nettoyage des filtres (dépend de la chute de pression)
- Ratio air/gaz dans le moteur à combustion

3 Cadre juridique pour les technologies de gazéification de biomasse

3.1 Introduction

La planification, la construction, la mise en service, et le fonctionnement d'une usine de gazéification sont des activités soumises à des réglementations européennes et nationales. Pour déterminer le cadre juridique applicable aux petites et moyennes usines de gazéification de biomasse, il est utile de faire une distinction entre les réglementations qui s'appliquent à leur conception et construction (tels que les produits destinés au marché européen) et les réglementations qui s'appliquent à leur propriété et leur exploitation. En termes plus simples, il s'agit de distinguer les devoirs des constructeurs de ceux des exploitants.

Les bases légales sous-jacentes sont différentes pour les deux parties. Alors que le cadre juridique régissant la sécurité des produits placés sur le marché est plutôt homogène à travers l'Europe, le cadre juridique régissant l'exploitation montre de nombreuses variations selon les États membres de l'Union européenne. L'objectif de ce chapitre est de donner une vue d'ensemble générale des cadres juridiques qui s'appliquent aux usines de gazéification de biomasse, tant du point de vue constructeur que du point de vue exploitant. Une attention particulière est portée aux aspects santé, sécurité et environnement (HSE).
L'identification des dangers et l'évaluation des risques font partie des exigences légales relatives à ces aspects et doivent être réalisées par le constructeur et l'exploitant.

3.2 Production et mise sur le marché

Les obligations des constructeurs d'usine de gazéification relatifs aux aspects HSE proviennent des directives européennes en accord avec l'Article 95 du Traité de la Communauté européenne, qui définit les obligations essentielles relatives à la santé et la sécurité auquel doit se conformer un produit destiné au marché européen. Les directives qui peuvent être applicables aux usines de gazéification sont listées dans le tableau 3.1.

Ces Directives ont en commun d'exiger la conformité avec un certain nombre d'obligations relatives à la santé et la sécurité. Les spécifications techniques des produits se conformant à ces obligations sont inscrites dans des standards harmonisés. L'application de standards, quíls soient harmonisés ou non, relève du volontariat, et les constructeurs peuvent toujours appliquer d'autres spécifications techniques pour se conformer à ses obligations.

De plus amples informations sur les directives relatives à la Nouvelle Approche et sur les standards harmonisés sont disponibles sur le site suivant :
http://www.newapproach.org/Directives/DirectiveList.asp

Il est demandé aux constructeurs d'évaluer et de déclarer la conformité de leurs produits. Ceux-ci peuvent choisir différentes procédures d'évaluation proposées dans la (les) directive(s) applicable(s).

Tableau 3.1: Directives européennes (donnant lieu à la certification CE) applicables aux usines de gazéification de la biomasse

Directive: Référence, Champ d'application	Examples of application (BGP equipment)
73/23/CEE : Directive Basses Tensions [2006/95/CE]	Équipements électriques, systèmes d'entraînement, systèmes de contrôle, générateurs
89/336/EEC : Directive Compatibilité Électromagnétique [2004/108/CE]	Équipements électriques, systèmes d'entraînement, systèmes de contrôle
98/37/EC: Directive Machine [2006/42/CE]	Systèmes d'entraînement, pompes, surpresseurs, éléments mobiles, moteurs à gaz, système d'alimentation en combustible, système d'extraction de cendres
94/9/CE: Directive ATEX (ATmosphères EXplosibles)	Surpresseurs , appareils de mesure, Arrête flammes
97/23/CE: Directive Équipement Sous Pression	Échangeur de chaleur/chaudière, Système à air comprimé
2000/14/CE: Évaluation et gestion du bruit dans l'environnement	Courroies transporteuses

Il est évident que certaines parties d'une usine de gazéification entrent dans le champ d'application des directives listées dans le tableau 3.1. La question qui se pose parfois est de savoir si l'usine de gazéification en tant qu'entité se trouve dans le champ d'application d'une de ces directives et par conséquent requiert une certification CE ainsi qu'une évaluation et déclaration de conformité de l'usine dans son ensemble. Ce problème est aussi traité dans le Deliverable D6 ("Listing of actions to harmonise the legal frame for biomass gasification"), disponible sur le site internet du projet Gasification Guide.

La citation suivante extraite du guide européen sur les directives de la Nouvelle Approche peut fournir quelques éléments à ce sujet :

« Il incombe au fabricant de vérifier si son produit entre ou non dans le champ d'application d'une directive.
Lorsqu'un produit se compose de plusieurs produits et pièces, chaque produit ou pièce qui le compose doit être conforme aux directives applicables, ce qui n'est pas toujours le cas pour le produit dans son ensemble. … Une analyse au cas par cas s'impose lorsqu'il faut que le fabricant décide si le produit composé de plusieurs produits et pièces doit être considéré comme un produit fini. »[1]

Un constructeur d'usine de gazéification devra identifier les éléments ou les équipements constitutifs de l'usine de gazéification qui sont couverts par les directives de la Nouvelle Approche. Il devra également pouvoir fournir les

[1] Guide relatif à la mise en application des directives élaborées sur la base des dispositions de la nouvelle approche et de l'approche globale, Commission Européenne, Luxembourg, 2000

certifications CE et les déclarations de conformité (DoC) de ces équipements. Le constructeur peut choisir d'installer ces équipements issus d'un tiers fournisseur qui détient déjà la certification CE et les déclarations de conformité.

Il n'est pas demandé au constructeur de produire une déclaration de conformité globale pour une usine de gazéification de biomasse dans son ensemble. Il doit en revanche fournir des notices d'utilisation, éventuellement sous forme de manuels d'instructions, qui couvrent tous les dangers que présente l'usine, les dispositifs de protection et les précautions à prendre pour un fonctionnement en toute sécurité, y compris pendant les opérations de mise en route, d'arrêt de production et de maintenance.

Des discussions entre experts de différents pays européens ont révélé qu'il existe des différences d'interprétations en ce qui concerne l'application de certaines des Directives listées dans le tableau 3.1 et les conséquences de leur application.

Concernant l'application de la Directive Machine, le fait de considérer l'usine de gazéification de biomasse comme un *assemblage* de machines (nécessitant ainsi une déclaration de conformité pour cet *assemblage* selon la Directive Machine), a fait l'objet de discussions. Un argument en faveur de cette approche réside dans le fait que l'évaluation de risque selon la Directive Machine recouvre différents types de dangers : ex. dangers mécaniques et électriques, températures extrêmes, incendies, explosions, bruits, vibrations et émissions de substances dangereuses.

Par ailleurs, il a été avancé que les obligations générales en termes de sécurité et de responsabilité du produit requièrent déjà une analyse des dangers et une évaluation de risque complètes de la part du constructeur, sans nécessairement soumettre le produit entier à une seule directive Nouvelle Approche. De plus, selon le document 'Comments on Directives 98/37/EC[2] publié par la commission Européenne "… il n'y a aucun intérêt, par exemple, à étendre [la Directive Machine] aux usines industrielles entières, telles que les centrales électriques". Par conséquent, l'application des procédures d'identification des dangers à la machinerie (ex. selon la norme Européenne EN 1050/EN 14121-1), peut être considérée comme une solution viable pour les usines de gazéification de biomasse, sans pour autant classer l'usine entière comme "machine" (ou assemblage de machines) ni émettre une Déclaration de conformité pour l'usine entière.

Le fait de classer comme appareil à pression, selon la Directive "Équipements sous pression", un équipement qui peut être pressurisé à plus de 0.5 bar suite à une explosion interne, demeure un point de discussion. Cela soulève également des

[2] http://ec.europa.eu/enterprise/mechan_equipment/machinery/guide/guide_en.pdf

questions relatives aux spécifications à appliquer pour un tel équipement[3]. Il semble que cela soit encore un problème à résoudre par les instances compétentes au niveau européen. Une présentation plus approfondie de ce problème est disponible dans le Deliverable D6 ("Listing of actions to harmonise the legal frame for biomass gasification"), qui est disponible sur le site Internet du projet "Gasification guide".

Les usines de gazéification de la biomasse, comme définies dans ce guide, sont supposées utiliser des équipements professionnels et être exploitées à une échelle commerciale. Il est envisageable, cependant, que les développements futurs des usines de gazéification puissent donner le jour à des équipements qui peuvent être utilisés beaucoup plus facilement, ce qui rendrait possible l'utilisation alternative des usines de gazéification en tant qu'équipement standard de production de chaleur accessible aux consommateurs.

Il serait ainsi nécessaire dans le futur d'appliquer la Directive relative à la sécurité générale des produits 2001/95/CE aux usines de gazéifications si celles-ci sont destinées à, ou peuvent potentiellement, être utilisées par des consommateurs. Les obligations en terme de santé et de sécurité requises pour les produits destinés à la consommation sont généralement plus exigeantes que celles requises pour les produits destinés à un usage commercial.

3.3 Construction et exploitation des usines de gazéification de biomasse

La construction et l'exploitation d'une usine de gazéification de biomasse sont soumises à l'application de diverses réglementations ayant un impact sur la conception (design) de l'usine et son mode de fonctionnement.

Les domaines qui apparaissent comme les plus importants en matière de protection de l'environnement et de risques professionnels ont été listés dans le tableau 3.2 ci-dessous.

Le tableau 3.2 peut être utilisé comme une check-list pour déterminer les obligations légales qui peuvent être applicables à une usine de gazéification dans un État de l'Union européenne. Les réglementations se rapportant aux domaines listés dans le tableau 3.2 doivent être déterminées individuellement pour les usines de gazéification. Il est recommandé de consulter en amont les autorités compétentes pour identifier les réglementations et les procédures à appliquer.

[3] Pour les équipements résistants aux explosions, les principes de conception et de test ont été spécifiés dans la norme EN 14460. Cette norme se trouve dans la liste de normes harmonisées par rapport à la Directive ATEX 94/9/EC, mais, pas par rapport à la Directive Équipement Sous Pression.

Tableau 3.2: Domaines juridiques applicables à la construction, la mise en service et l'exploitation des usines de gazéification de biomasse

Sujet principal	Sujet	Applicabilité aux usines de gazéification de biomasse
Impact Environnemental	Obligation d'obtention de permis (Integrated pollution prevention and control)	Bien que les usines de gazéification de biomasse ne soient pas dans le champ d'application de la directive IPPC, les réglementations nationales peuvent exiger des permis intégrés ou des permis spéciaux. Cf. Tableau 3.3
	Étude d'impact environnemental (EIA)	Les usines de gazéification de biomasse peuvent être classées parmi les développements qui nécessitent la réalisation d'une étude d'impact environnemental.
	Émissions atmosphériques : gaz, poussières, odeurs	Émissions en fonctionnement normal de moteurs à gaz, torchères ou stockages; le démarrage et l'arrêt peuvent également engendrer des émissions
	Émissions sonores	Bruit venant des équipements (moteur à gaz, surpresseurs, dispositifs de refroidissement), de la manutention des matériaux, et des véhicules
	Risques majeurs	Peut devenir applicable si de grandes quantités de substance dangereuses sont stockées sur site
	Production et Traitement des déchets	Les déchets peuvent inclure les cendres, le goudron, et les solvants de nettoyage contaminés : Une attention spéciale est requise en cas de recirculation d'intermédiaires (ex. goudrons issus du système de lavage de gaz)
	Déversement d'eaux usées	Les eaux de procédé peuvent nécessiter un traitement spécial pour pouvoir être déversées dans les égouts
	Manipulation de substances dangereuses pour l'eau / protection des plans d'eau	Goudron, solvants de nettoyage, produits pour traitement d'eau ; Utilisation d'eau de refroidissement
	Protection du sol	Goudron, solvants de nettoyage, produits pour le traitement des eaux
Risques professionnels	Risques professionnels, général	Évaluation des risques, mesures de protection, procédures de fonctionnement, équipement de protection individuelle, procédure d'urgence
	Substances dangereuses pour la santé	Intermédiaires : gaz de gazogène (CO), goudron, manipulation de produits chimiques utilisés dans l'usine, ex. solvants de nettoyage, produits de traitement des eaux, agents biologiques (stockage du combustible)
	Risques d'incendie et explosion, protection contre l'explosion	Gaz de gazogène inflammable; précautions spéciales pour la mise en marche et l'arrêt du gazogène ; Identification des lieux où peuvent se former des atmosphères explosives (classification en zone)
	Installations sujettes à la surveillance	Une surveillance spéciale peut être requise pour certains types d'équipements et installations

Tableau 3.2 (suite)

Sujet principal	Sujet	Applicabilité aux usines de gazéification de biomasse
Risques professionnels	Appareil à pression	Obligations concernant l'installation, la maintenance et les contrôles périodiques
	Équipements électriques	Obligations concernant l'installation, la maintenance et les contrôles périodiques
	Équipements de travail	Obligations concernant l'installation, la maintenance et les contrôles périodiques
Autres réglementations	Énergies renouvelables et biomasse	Conséquences possibles de la conception de l'usine, type de matière première, et mode de fonctionnement: prix préférentiels garantis, installation de cogénération, garantie d'origine (énergies renouvelables) distinction: biomasse (naturelle)/ déchets
	Alimentation en énergie	Obligations à l'égard de l'alimentation en énergie par rapport au réseau électrique
	Aménagement du territoire	Sélection de sites appropriés (activités industrielles)
	Sécurité des bâtiments	Sécurité incendie, stabilité des bâtiments

La question du type de permis requis pour une installation de gazéification se pose lors des premières étapes de la planification. Pour des usines de gazéification de petites et moyennes échelles, un permis environnemental qui fixera les valeurs limites d'émission dans l'atmosphère et dans l'eau sera nécessaire dans de nombreux cas.

Les critères de classification qui ont un impact significatif sur les obligations légales relatives à la construction et l'exploitation des usines de gazéification, y compris les décisions établissant la nécessité et le type de permis requis, sont énumérés ci-dessous :

- Type de combustible : biomasse classée comme déchet, ou biomasse naturelle[4]
- Puissance thermique en entrée d'une usine de gazéification au regard du combustible
- Puissance thermique en sortie d'une usine de gazéification au regard du gaz produit

[4] La gazéification des déchets, qui rentrent dans le champs dápplication de la directive 200/76CE sur lïncinération des déchets, n'est pas abordée dans ce guide.

- L’usine de gazéification constitue-t-elle une unité à part entière ou fait-elle partie d’une installation plus grande ?
- Puissance électrique de l’installation de cogénération
- Type de moteur à gaz (allumage par compression, allumage par étincelles)
- Temps de fonctionnement annuel du moteur à gaz (demande en énergie électrique de pointe d'un réseau, ou fonctionnement permanent)
- Date de mise en service de l’usine
- Caractéristiques du site et de ses alentours (ex. zones industrielles, commerciales, rurales ou résidentielles)
- L’usine de gazéification donne-t-elle lieu à un rejet d’eaux usées ?

Les critères ci-dessus s’appliquent au droit procédural (une notification de la part d’une autorité compétente ou un permis environnemental sont-ils requis ?) et au droit substantiel (valeur limites d’émission, prix préférentiels garantis – feed-in tariff – de l’électricité).
La Directive 96/61/CE du conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrée de la pollution (Directive IPPC) fournit des mesures permettant d’éviter (mesure préventive) ou, quand cela n’est pas praticable, de réduire les émissions dans l’air, l’eau, et le sol de certaines activités industrielles de façon à atteindre un niveau élevé de protection de l’environnement dans son ensemble.

Les réglementations nationales ou régionales qui transposent la directive IPPC et les éléments qui définissent la nécessité d’obtenir un permis dans le cas des usines de gazéification de biomasse sont listés pour quelques pays européens dans le tableau 3.3.

Pour certains États européens, l’annexe 1 de la directive européenne IPPC (catégories des activités industrielles) a été transposée en réglementations nationales sur une base 1:1, ce qui signifie que les usines de gazéification ne font pas partie du champ d’application de ces réglementations nationales. D’autres pays européens ont combiné les obligations issues de la directive IPPC avec leurs programmes nationaux relatifs aux usines et activités soumises à une autorisation d’exploitation.

Tableau 3.3: Réglementations nationales transposant la directive IPPC; Nécessité d'un permis pour usine de gazéification de biomasse

Pays	**Réglementation(s) transposant la directive IPPC**	**Nécessité d'un permis pour usine de gazéification de biomasse.**
(Europe)	(Directive 96/61/CE relative à la prevention et à la réduction intégrée de la pollution – Directive IPPC)	(Selon l'Annexe I, les usines de gazéification de biomasse ne sont pas dans le champ d'application de la directive IPPC)
Autriche	Trade, Commerce and Industry Regulation Act 1994, last amended 2006 [Gewerbeordnung GewO 1994, zuletzt geändert 2006] Immission Protection Act - Air [IG-L Immissionsschutzgesetz - Luft]	Oui, mais des obligations spécifiques pour les installations IPPC ne s'appliquent pas aux usines de gazéification de biomasse oui
Belgique (Exemple: Bruxelles)	Environmental Permit Order [Ordonnance du 5 juin 1997 relative aux permis d'environnement du Ministère de la Région de Bruxelles-Capitale] Schedule of classified installations [Arrêté du Gouvernement de la Région de Bruxelles-Capitale fixant la liste des installations de classe IB, II et III]	Oui, pour la gazéification des matériaux riches en carbone (< 500 t/d) (No. 39, class IB)
Bulgarie	Environmental Protection Act (SG 91/2002) [Закон за опазване на околната среда (ДВ 91/2002)] Regulation №5 on risk assessment (SG 47/1999) [Наредба №5 за оценка на риска (ДВ 47/1999)]	oui
Danemark	Environmental Protection Act 2006 Statutory Order no. 1640 of 13 December 2006 from the Ministry of the Environment on Approval of Listed Activities (Approval Order) [BEK nr 1640 af 13/12/2006 (Godkendelsesbekendtgørelsen)]	oui, si la puissance calorifique est > 1 MW (Annexe 2, G 202)
France	Environmental Act [Code de l'environnement] Schedule of classified installations [Nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement] [Arrêté du 2 février 1998 relatif aux prélèvements et à la consommation d'eau ainsi qu'aux émissions de toute nature des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation]	oui, pour la production de gaz inflammables (1410) et pour la combustion de combustibles non-standard si la puissance calorifique est > 0.1 MW (2910)
Allemagne	Federal Immission Control Act [Bundesimmissionsschutzgesetz, BImSchG] Ordinance on Installations Requiring a Permit [4. BImSchV]	Oui, si la puissance calorifique du gaz produit est > 1 MW (Annex, No. 1.4 and 1.13)
Irlande	Protection of the Environment (PoE) Act 1992 and 2003	Les usines de gazéification de biomasse ne sont pas dans le champ d'application

Tableau 3.3 (suite.)

Pays	**Réglementation(s) transposant la directive IPPC**	**Nécessité d'un permis pour usine de gazéification de biomasse.**
Italie	IPPC Act 2005 [Decreto Legislativo 18 febbraio 2005, n. 59 "Attuazione della direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento"] Environmental Protection Ordinance [Decreto Legislativo 152 del 3 aprile 2006 recante norme in materia ambientale]	Les usines de gazéification de biomasse ne sont pas dans le champ d'application Oui (Art. 269)
Pays-Bas	Environmental Act [Wet milieubeheer, Wm] Ordinance on Installations and Permits [Inrichtingen- en vergunningenbesluit milieubeheer (Ivb)] Water Act [Wet verontreiniging oppervlaktewateren, Wvo]	Oui (Moteur à combustion interne > 1.5 kW) (Cat. 1, 1.1b)
Espagne	IPPC Act [Ley 16/2002 de 1 de julio de Prevención y Control Integrados de la Contaminación (Ley IPPC)] Air Quality Act [LEY 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera]	Les usines de gazéification de biomasse ne sont pas dans le champ d'application Doit être discuté avec les autorités compétentes: Distillation sèche du bois (annexe IV, 1.1.3, groupe A); Centrales thermiques et électriques conventionnelles < 50 MW thermique (2.1.1, groupe B); Gazogènes (3.1.2, groupe C)
Suède	The Environmental Code [SFS 1998:808 Miljöbalk] Ordinance on environmentally hazardous :tivities [Förordning (1998:899) om miljöfarlig verksamhet och hälsoskydd]	Non, pour gazogènes et moteur à gaz < 10 MW, mais notification requise (40-5 et 40.1-2) [Depuis le 01/01/2008: oui, si plus de 150.000 m^3 de gaz inflammable est produit par année – 40.10 (B)]
Suisse	(Il n'existe pas de transposition de la directive IPPC en Suisse!) Environmental Protection Act [Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz, USG)]	Oui; les lois des cantonales suisses relatives aux constructions déterminent la procédure d'autorisation
Royaume-Uni (Angleterre et Pays de Gales)	The Environmental Permitting (England and Wales) Regulations 2007	Doit être discuté avec les autorités compétentes, cf. Part 2(Activities) / Chapter 1 (Energy activities) Section 1.1 (Combustion activities) and Section 1.2 (Gasification, Liquefaction and Refining Activities)

Même dans le cas où les usines de gazéification ne sont pas couvertes par les réglementations nationales transposant la directive IPPC, des permis relatifs à la construction et à l'exploitation (ex. Permis de construire) ou des notifications issues

des autorités compétentes (organismes de régulation) peuvent être requis par d'autres réglementations nationales et régionales.

Par conséquent, lors de la planification en vue de la construction et l'exploitation d'une usine de gazéification, il est recommandé de s'entretenir avec les organismes de régulation locaux lors des premières étapes du projet et de récolter des informations sur les réglementations statutaires spécifiques.

Les réglementations nationales relatives à la santé et la sécurité au travail (pour les domaines listés dans le tableau 3.2) exigent de l'employeur de prévenir et minimiser les risques, de fournir des informations, des formations et de fournir une organisation et des moyens nécessaires. À cette fin, l'employeur doit réaliser une identification des dangers et une évaluation des risques et rédiger des documents contenant les résultats de cette évaluation et les mesures et dispositifs de protection qui doivent être utilisés.

Au regard des usines de gazéification de la biomasse, ces documents doivent inclure :

- Un registre des substances dangereuses utilisées dans l'établissement
- Un document relatif à la protection contre l'explosion ; et
- Des procédures écrites de fonctionnement spécifiques à l'entreprise

Outre les réglementations statutaires, il est nécessaire de prendre en compte les exigences en terme de santé, sécurité et environnement imposées par les assureurs pour l'obtention d'assurances de responsabilité civile et de dommage pour l'usine de gazéification.

3.4 Procédure d'obtention de permis pour les usines de gazéification de biomasse

Si un permis est requis pour la construction et l'exploitation d'une usine de gazéification de biomasse, les candidats doivent fournir des informations détaillées sur les activités planifiées. Les procédures sont spécifiques à chaque pays, par exemple en matière de :

- Autorités compétentes
- Informations devant être fournies dans l'application écrite du permis
- Formulaires à remplir, et
- Nombre d'exemplaires à fournir par le candidat.

Le tableau 3.4 compile des sources officielles d'information (liens internet) et des stratégies de recherches d'informations officielles sur les procédures d'obtention de permis et les formulaires à remplir.

Tableau 3.4: Vue d'ensemble des sources d'information concernant les spécifications requises lors de la demande de permis

Pays	**Champ d'application / type d'installation;** **source d'information concernant la candidature en vue de l'obtention d'un permis (environnemental)**
Autriche	Usine de gazéification de biomasse ayant une activité commerciale: Sections 353 and 353a of the Trade, Commerce and Industry Regulation Act (GewO 1994): **http://www.ris2.bka.gv.at/Bundesrecht/** Des informations détaillées sur les procédures d'obtention de permis ont été compilées dans le "Guideline on safety and authorisation of biomass gasification plants" autrichien [Leitfaden - Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen]: **http://www.nachhaltigwirtschaften.at/edz_pdf/leitfaden_biomassevergasungsanlagen.pdf**
Belgique (Exemple: Bruxelles)	Procédures d'obtention de permis pour installation classée: **http://www.ibgebim.be/Templates/Professionnels/Informer.aspx?id=1210&langtype=2060**
Danemark	Installation de cogénération, turbines à gaz, moteurs à gaz dans la gamme 1–5 MW (thermique): Annexe 5 Section 3 du Approval Order (BEK No. 1640 of 13/12/2006) **https://www.retsinformation.dk/Forms/R0710.aspx?id=13040**
France	Procédures d'obtention de permis pour installation classées: **http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr/-Regime-d-autorisation-.html** Informations sur les details requis pour l'obtention de permis: **http://installationsclassees.ecologie.gouv.fr/Comment-constituer-le-dossier-de.html**
Allemagne	Gazogènes et moteurs à gaz > 1 MW (thermique): Ordinance on Permit Procedures (9. BImSchV), Sections 3, 4 and 4a) to 4e) **http://bundesrecht.juris.de/bundesrecht/bimschv_9** Des informations supplémentaires et des formulaires peuvent être trouvés sur les sites internet : *Laender* Environmental Ministries. (Mots clés: "Antrag Genehmigung Immissionsschutz <*Land*>") Ex. pour Northrhine-Westphalia: **http://www.umwelt.nrw.de/umwelt/immissionsschutz/genehmigungsverfahren/index.php**
Irlande	Informations générales ou Autorisations: Environmental Protection Agency (Irlande) **http://www.epa.ie/downloads/advice/**
Italie	Installations sujettes aux permis environnementaux: Agences Environnementales des provinces (Mot clés: "autorizzazione ambiente <province>")
Pays-Bas	Installations sujettes aux permis environnementaux: Formulaires pour permis environnemental téléchargeable sur les sites internet des provinces. (Mot clés: "aanvraag vergunning milieubeheer <community>")
Espagne	Informations générales: Ministère de l'environnement espagnol: **http://www.mma.es/portal/secciones/** (De nouvelles obligations d'autorisation sont imposées par le Air Quality Act of 15/11/2007.)

Tableau 3.4 (suite)

Pays	Champ d'application / type d'installation; source d'information concernant la candidature en vue de l'obtention d'un permis (environnemental)
Suède	Installations sujettes aux permis environnementaux: Des informations supplémentaires sur les procédures d'obtention de permis peuvent être téléchargées sur le site du Ministère de l'Environnement Suédois **http://www.naturvardsverket.se/sv/Verksamheter-med-miljopaverkan/Tillstand-och-anmalan-for-miljofarlig-verksamhet/** Des informations supplémentaires et des formulaires peuvent être trouvées sur les sites Internet des autorités des contés administratifs [länsstyrelsen]. (Mots clés: "tillstånd miljöfarlig verksamhet <comte>")
Suisse	Installations industrielles: Permis de construire, déclarations sur les émissions, permis pour installations industrielles: Formulaires spéciaux et guides peuvent être trouvés sur les sites internet des cantons suisses. (Mots clés: "Baugesuch Industrie <canton>"; "Plangenehmigung Betriebsbewilligung <canton>")
Royaume-Uni (Angleterre et Pays de Galles)	Procédé de planification pour énergies renouvelables: **http://www.berr.gov.uk/energy/sources/renewables/planning/process/page18680.html** Énergie issue d'usines alimentées par de la biomasse solide (document de référence): **http://publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0706BLBH-e-e.pdf?lang=_e** Comprendre la signification d'installation soumis à une régulation : **http://www.environment-agency.gov.uk/static/documents/Business/epr2_v1.0_2000543.pdf** Comment être conforme à un permis environnemental, conseils supplémentaires pour les activités de combustion : http//publications.environment-agency.gov.uk/pdf/GEHO0209BPIN-e-e.pdf

De manière générale, une candidature pour un permis de construire et d'exploitation d'une usine de gazéification de biomasse devra comporter les éléments suivants :

- informations sur le candidat (nom, adresse),
- référence spécifique aux réglementations applicables, par exemple la classification de l'installation et le type d'activité industrielle en accord avec les programmes nationaux,
- description de la localisation de l'usine, accompagnée de cartes et de plans du site à différentes échelles,
- description de l'agencement de l'usine et de son fonctionnement (texte, schéma de procédé, listes des équipements, plans d'implantation),
- Bilan énergétique et massique de l'usine entière (matière première, émissions, déchets, matériels auxiliaires, énergie utilisée et produite), démontrant que toutes les sources d'émission ont été prises en considération,
- description des mesures générales de sécurité au travail,
- descriptions de dangers spécifiques (incendie, explosion, substances dangereuses) et des mesures préventives,
- description et évaluation des conséquences potentielles sur l'environnement (par exemple, émissions sonores, émissions atmosphériques),
- description du management des déchets et des eaux usées

Il arrive que des certificats supplémentaires provenant d'une tierce partie et d'experts soient requis, par exemple sur les émissions de bruit et sur les mesures de protections contre les incendies et les explosions.

3.5 Spécificités des procédures d'obtention de permis pour les usines de gazéification de biomasse dans les États européens

Autriche

Au chapitre 4 du "Guideline on safety and authorisation of biomass gasification plants" (Leitfaden-Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungs¬anlagen), on peut trouver une présentation détaillée du cadre légal en vigueur pour la construction et le fonctionnement des usines de gazéification de biomasse en Autriche, cf. tableau 3.4. Les petites BGPs ayant une activité commerciale seront couvertes par le Trade, Commerce and Industry Regulation Act [Gewerbeordnung]. La production d'électricité est sujette à la Austrian electricity law.

Danemark

Les conditions requises par la procédure d'obtention de permis pour les usines de gazéification de biomasse de 1 à 5 MWth sont détaillées dans l'annexe 5 Section 3 du Approval Order (BEK No. 1640 of 13/12/2006). Ce document contient une description détaillée des informations qui doivent être présentées lors d'une demande de permis.

Allemagne

Pour les usines de gazéification de biomasse inférieures à 1 MW thermique (gaz de gazogène et/ou le moteur de l'installation de cogénération), seul un permis de construire délivré par les autorités locales de construction sera requis. Pour de plus grandes usines ou si une évaluation d'impact environnemental est nécessaire (pour des raisons spécifiques au site), l'activité sera sujette à une procédure d'obtention de permis environnemental, qui inclura d'autres permis nécessaires. Les émissions sonores provenant du fonctionnement de la BGP peuvent être un facteur important dans le choix de la localisation du site de l'usine.

Pays-Bas :

Les permis pour les usines de gazéification de petite échelle sont délivrés par les autorités locales, principalement les provinces et municipalités. Le permis de construire requiert une déclaration de sol propre, étant donné l'interdiction de construire sur un sol pollué.

La municipalité et le service municipal d'incendie évaluent les mesures de sécurité et les mesures de lutte contre l'incendie qui sont proposées, en accord avec le Building Decree. L'utilisation des meilleures techniques disponibles (BAT) est importante pour obtenir un permis environnemental et un permis de construire.

Suisse:

Les problèmes relatifs à la protection de l'environnement (émissions, déchets) et à la sécurité du travail sont traités comme partie intégrante des procédures pour obtenir un permis de construire. La candidature pour un permis de construire [Baugesuch] doit inclure une déclaration sur les émissions [Emissionserklärung] et une candidature en vue de l'obtention de permis relatifs aux lois régissant la sécurité du travail pour la planification et l'exploitation d'une installation industrielle [Plangenehmigung, Betriebsbewilligung].

Les autorités cantonales régissant les constructions constituent les autorités compétentes pour les procédures d'obtention de permis de construire.
Les mesures de sécurité incendie des installations doivent être décrites lors de la candidature pour l'obtention d'une assurance incendie au niveau d'un établissement cantonal d'assurance des bâtiments [Kantonale Gebäudeversicherung], ce qui est obligatoire.

3.6 Application des meilleures techniques disponibles et valeurs limites d'émission

Selon l'article 2 de la directive IPPC, la « meilleure technique disponible » (BAT) se définit comme le stade de développement le plus efficace et avancé des activités et de leurs modes d'exploitation, démontrant l'aptitude pratique de techniques particulières à constituer, en principe, la base des valeurs limites d'émission visant à éviter et, lorsque cela s'avère impossible, à réduire de manière générale les émissions et l'impact sur l'environnement dans son ensemble. Par :

- "techniques", on entend aussi bien les techniques employées que la manière dont l'installation est conçue, construite, entretenue, exploitée et mise à l'arrêt,
- "disponibles", on entend les techniques mises au point sur une échelle permettant de les appliquer dans le contexte du secteur industriel concerné, dans des conditions économiquement et techniquement viables, en prenant en considération les coûts et les avantages, que ces techniques soient utilisées ou produites ou non sur le territoire de l'État membre intéressé, pour autant que l'exploitant concerné puisse y avoir accès dans des conditions raisonnables,
- "meilleures", on entend les techniques les plus efficaces pour atteindre un niveau général élevé de protection de l'environnement dans son ensemble

L'article 9 de la Directive IPPC demande pour les activités dans son champ d'application, que les valeurs limites d'émission (ou paramètres équivalents et mesures techniques) soient basées sur les meilleures techniques disponibles (BAT) sans imposer l'utilisation d'une technique ou technologie en particulier, mais en prenant en compte les caractéristiques techniques de l'installation concernée, son emplacement géographique et les caractéristiques environnementales locales.
À cause de la puissance calorifique mise en jeu et de la nature du combustible utilisé, les usines de gazéification de biomasse prises en considération dans ce guide ne se trouvent pas dans le champ d'application de l'Annexe 1 catégorie 1 (Industrie d'activités énergétiques) de la directive IPPC. Ces usines de gazéification de biomasse ne peuvent pas non plus être classées dans « Autres Activités » (catégorie 6 de l'Annexe I de la directive IPPC). Par conséquent, au regard de la directive européenne IPPC, il n'y pas obligation d'appliquer les valeurs limites d'émission ou les obligations de réduction d'émission basées sur l'utilisation des meilleures techniques disponibles. Cependant, comme cela a été mis en évidence dans le chapitre 3.2, les usines de gazéification de biomasse de petite et moyenne échelle sont sujettes à l'obtention de permis selon certaines réglementations nationales transposant la directive IPPC. Par conséquent, certaines procédures d'obtention de permis, au niveau national, requièrent des valeurs limites d'émission (ou des paramètres équivalents et des mesures techniques) basées sur l'utilisation des meilleures techniques disponibles.

Dans le document "BAT (Best Available Techniques) Reference Document (BREF)" de Juillet 2006 sur les usines de combustion à grande échelle, la gazéification de la biomasse est décrite dans le chapitre 5.6 comme une « technique émergente » ayant actuellement seulement le statut d'unité de démonstration. Cela indique que les techniques de lavage d'effluents gazeux des usines de gazéification, à grande ou petite échelle, sont au stade de développement également. Des réponses aux questions suivantes doivent encore être apportées, en prenant en considération aussi bien les aspects économiques et qu'environnementaux :

- Quelles techniques de réduction d'émission issues des installations de combustion standard peuvent être appliquées aux usines de gazéification de biomasse ?
- Quelles valeurs limites d'émission peuvent être atteintes ?

Une brève description des techniques actuellement utilisées pour la réduction d'émission dans les usines de gazéification à petite échelle est donnée dans le chapitre 6 de ce guide.

4 Aspects théoriques de l'évaluation des risques

4.1 *Introduction*

La technologie de gazéification de biomasse diffère des autres technologies de conversion de l'énergie basées sur les énergies renouvelables (par exemple combustion de biomasse) de part le fait qu'elle implique de façon inhérente la production, le traitement et l'utilisation d'un mélange de gaz et milieux auxiliaires inflammables et toxiques. Par conséquent une évaluation des risques adaptée est fortement recommandée et est souvent une obligation légale pour le placement sur le marché et l'exploitation de l'usine.

Une évaluation des risques a pour objectif la protection des employés et de l'usine elle-même. Les constructeurs/exploitants doivent garder à l'esprit que les accidents et les problèmes de santé peuvent gâcher des vies et également affecter l'entreprise dans les cas où celle-ci subit une perte de production, des dommages matériels, une augmentation des coûts d'assurance ou dans le cas de poursuites judiciaires [16].

Une évaluation des risques consiste à examiner attentivement ce qui dans l'usine peut causer des dommages aux personnes et à l'environnement et à adopter des mesures de contrôle raisonnables. Les constructeurs/exploitants doivent réaliser une évaluation complète et bien documentée des risques relatifs à :

- La santé – ex. dangers pour la santé, danger associés aux gaz toxiques, etc.;
- La sécurité – ex. dangers d'explosion, d'incendies, etc.;
- L'environnement – ex. effluents gazeux, perte de confinement de substances toxiques, etc.

Une évaluation des risques doit être réalisée pendant la phase de conception (pour les constructeurs) de façon à améliorer l'approche conceptuelle de l'usine. Pour les usines existantes, une évaluation des risques permet la réduction des risques résiduels par une mise à jour continuelle de l'évaluation de risques originelle (pour les constructeurs et les exploitants).

Les procédures d'évaluation des risques ne sont généralement pas standardisées pour les usines de gazéification de biomasse. Différentes méthodes d'évaluation des risques peuvent être utilisées. Des directives pour les évaluations des risques peuvent être trouvées dans des études de cas venant d'autres branches industrielles (ex. industries alimentaires, chimiques, métallurgiques, etc.).

De tels exemples peuvent uniquement fournir des directives quant au choix de la méthodologie et doivent souvent être adaptés aux usines de gazéification de biomasse.

4.2 *Vue d'ensemble d'une procédure d'évaluation des risques pour les usines de gazéification de biomasse*

L'évaluation des risques est une tache considérable pour laquelle une connaissance complète du procédé, du comportement opérationnel et de la méthodologie d'évaluation des risques est nécessaire. Il est recommandé que l'évaluation des risques soit réalisée par une équipe composée d'expertises diverses. Les informations suivantes sont nécessaires:

- Données relatives à l'usine (schéma de procédé, schéma tuyauterie et instrumentation (schéma P&I), désignations de référence et documentation de l'usine, design des appareils, etc.);
- Mode opérationnel prédéfini (connaissance des phases de démarrage, d'arrêt et de fonctionnement normal), stratégies de contrôle de procédé;
- Données sur les milieux utilisés et mélanges gazeux, schéma de flux (ex. eaux usées, résidus de lavage de gaz, poussières, gaz d'échappement), ainsi que les données de sécurité correspondante (toxicités, caractéristiques d'explosion, etc.);
- Conditions de fonctionnement souhaitées (température, pression, débits et composition du gaz)
- Liste des machines et détails de conception
- Bilans de masse et d'énergie, diagramme des flux (température, pression, composition et charge polluante, etc.);
- Information sur l'environnement de l'usine (aspects géographiques, environnementaux, etc.)

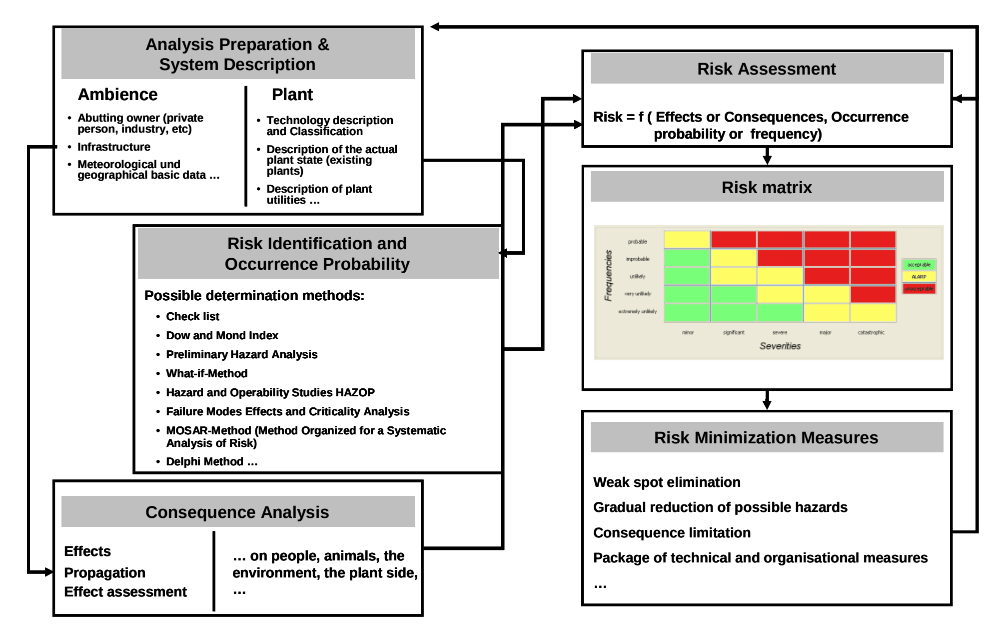


Figure 4.1 Approche systématique d'évaluation des risques pour les usines de gazéification de biomasse

La technologie de gazéification de la biomasse à petite échelle étant unique et relativement nouvelle, il n'existe pas de méthode évaluation des risques ni de directive spécifique disponible. Ce guide recommande l'utilisation d'une méthodologie d'évaluation des risques praticable et suffisante pour être appliquée à de telles usines. L'approche choisie est basée sur une analyse fonctionnelle de l'usine [10-12]. Elle est basée principalement sur les méthodes Hazard and Operability Studies (HAZOP) [13,20] et Failure Modes Effects and Criticality Analysis (FMEA) [14], ainsi que les recommandations données par une commission d'experts [13, 15].

Dans la plupart des cas, l'évaluation des risques est réalisée sur des systèmes complexes qui comprennent un grand nombre de fonctions indépendantes et de sections d'usine. En subdivisant le procédé en unités [1, 17] (ex. stockage, manipulation et alimentation du combustible, gazogène, refroidissement des gaz, lavage des gaz, conditionnement des gaz, et utilisation des gaz), le système

complexe est simplifié et une analyse séparée de chaque fonction est rendue possible (ex. pour le gazogène: alimentation en combustible, alimentation en vapeur et air, contrôle de la température dans le gazogène, extraction des cendres, etc).
Pour chaque fonction étudiée, l'équipe d'évaluation des risques doit [21] :

- Identifier les dangers potentiels et leur probabilité d'occurrence;
- Identifier les conséquences de ces dangers potentiels et leur sévérité;
- Évaluer les risques;
- Appliquer les mesures de réduction/mitigation appropriées;
- Réviser et mettre à jour régulièrement l'évaluation des risques

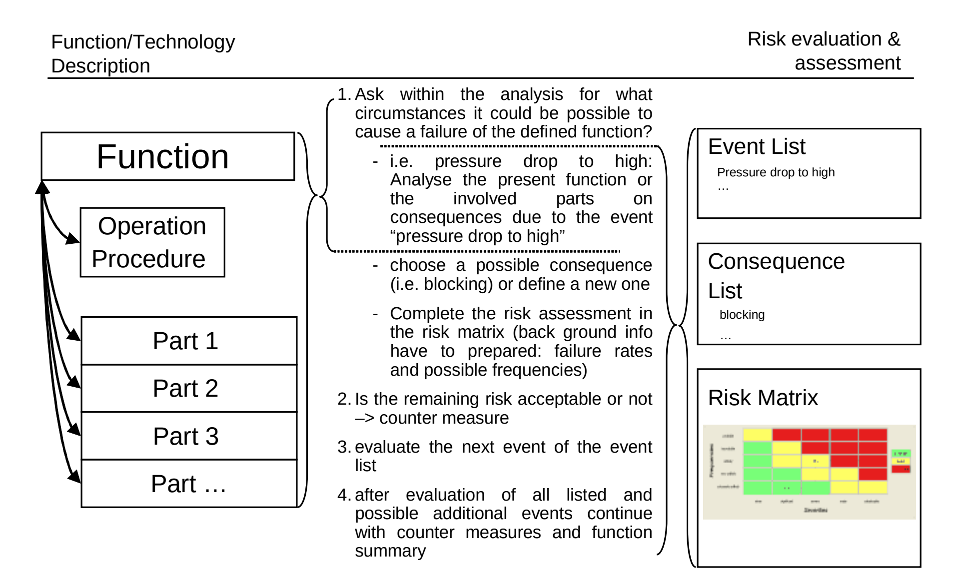


Figure 4.2 Description schématique de l'évaluation des risques pour une fonction examinée

La figure 4.2 fournit une vue d'ensemble des principes et de la méthodologie à appliquer lors d'une évaluation des risques. Chaque étape doit être bien documentée pour rendre possible une traçabilité.
Les parties suivantes offrent une base pour la réalisation de l'identification des dangers, de l'évaluation des risques à proprement parler et pour l'application de mesures de réduction de risques concrètes.
Un exemple d'évaluation de risques réalisé sur une configuration de procédé modèle est donné dans le manuel d'utilisation de l'outil logiciel (D11 – Outil Logiciel et Manuel d'utilisation).

4.3 Identification des dangers et conséquences

Pour chaque fonction définie, l'équipe d'évaluation des risques doit réaliser une identification des dangers. Cela consiste à identifier toutes les situations ou évènements qui peuvent causer des dommages aux personnes et à l'environnement. Ces dangers peuvent être de différentes natures:

- Conditions opératoires anormales (température et pression),
- Panne d'équipement,
- Fuites,
- Erreur humaine
- Perte de confinement,
- Etc.

L'approche proposée dans ce guide suit principalement les analyses HAZOP et FMEA. D'autres méthodes d'identification des dangers sont néanmoins disponibles et peuvent être utilisées.
La probabilité d'occurrence de chaque danger identifié doit être évaluée (en utilisant par exemple les taux de défaillance des équipements, les données existantes, etc.) *[Ref 23, 26]*. Une situation dangereuse examinée peut être elle-même causée par d'autres situations ou évènements qui doivent être pris en compte dans le calcul de la probabilité d'occurrence totale.
Toutes ces situations potentiellement dangereuses doivent être analysées pour déterminer leurs conséquences, telles que : incendies, explosions, émission, etc. [26] (figure 4-3).

Les tableaux 4.1 et 4.2 proposent une liste d'évènements dangereux et de conséquences possibles qui peuvent se produire dans une usine de gazéification de biomasse. Même si cette check-list a été diffusée et approuvée par les experts HSE de l'équipe de ce projet, elle n'est pas exhaustive. Cette liste n'est en aucun cas une liste complète. Elle ne fournit que des directives pour la réalisation de l'identification des dangers et la préparation de l'évaluation des risques subséquente [2].

L'identification des situations potentiellement dangereuses et de leurs conséquences doit être réalisée par une équipe d'experts. Des estimations réalistes des probabilités d'occurrence et des gravités doivent être utilisées.

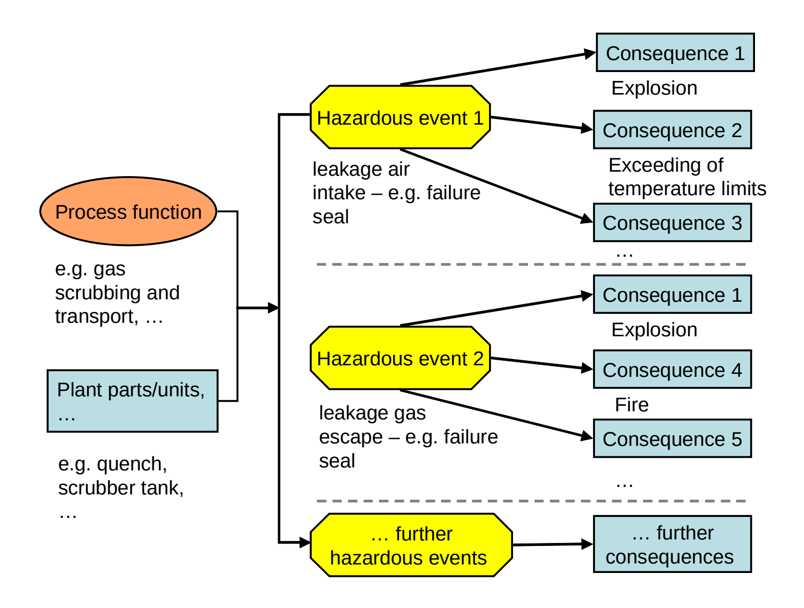


Figure 4.3 Structure d'une identification des dangers

L'identification des situations potentiellement dangereuses et de leurs conséquences doit être réalisée par une équipe d'experts multidisciplinaire. Des estimations réalistes des probabilités d'occurrence et des gravités doivent être utilisées.

4.4 Évaluation des risques

La prochaine étape de la procédure consiste à évaluer les risques associés aux situations dangereuses identifiées. Le risque correspond à une combinaison de conséquences (gravité) et de probabilités d'occurrence (fréquence). Une matrice des risques permet de représenter graphiquement cette combinaison (figure 4.4) [21, 27, 28]. Il s'agit d'une méthode facile pour visualiser l'étendue des risques, visualiser les

dangers ou de réaliser une simple analyse des risques. Le principal avantage de cette matrice consiste en la simple représentation des différents niveaux de risques, ce qui permet d'éviter une analyse des risques quantitative, qui demande plus de temps, lorsque cela n'est pas justifié.
Pour réaliser la matrice des risques, les probabilités d'occurrence et les gravités déterminées dans les étapes précédentes peuvent être classées en plusieurs catégories. Les tableaux 4.1 et 4.2 proposent des structures qui peuvent être utilisées. L'équipe d'évaluation des risques peut choisir une classification différente, en ayant par exemple plus de catégories. Cependant, la classification choisie ne doit pas complexifier inutilement la matrice des risques [28].

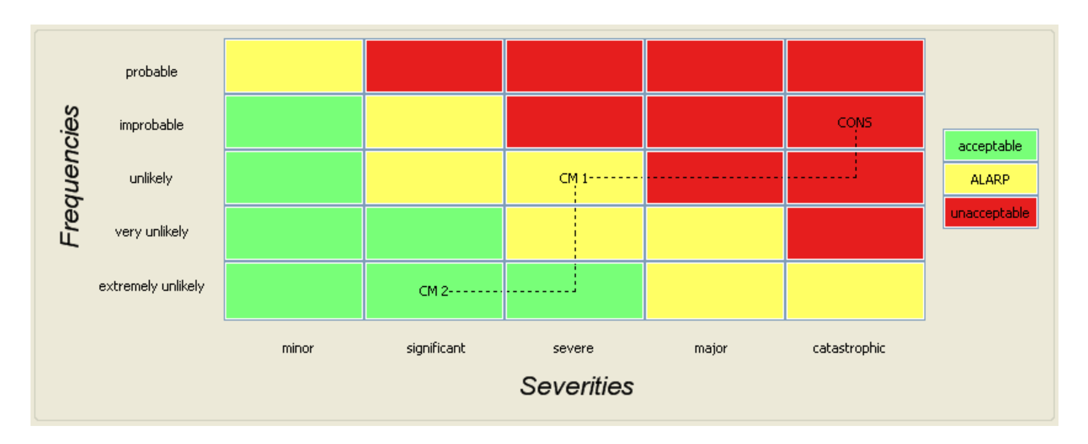


Figure 4.4 Matrice des risques pour la caractérisation et la visualisation des risques potentiels existants et/ou résiduels

Tableau 4.1 Exemple pour la caractérisation du risque – Probabilités d'occurrence

Notation	Frequency range
Extremely unlikely	**<10^{-6} per year**
Very unlikely	**10^{-6} to 10^{-4} per year**
Unlikely	**10^{-4} to 10^{-2} per year**
Improbable	**10^{-2} to 1 per year**
Probable	**> 1 per year**

Tableau 4.2 Exemple pour la caractérisation du risque – Gravité

CONSEQUENCES					
Category	**minor**	**significant**	**servere**	**major**	**catastrophic**
Human beings	light injury	injury	severe injury	disablement, death	death
Environment	olfactory pollution, elevated emissions (short time)	long lasting olfactory pollution, slightly increased emissions	emission of toxic substances of little amounts	emission of toxic substances of amounts	emission of toxic substances of huge amounts
Property/goods	no plant shut down, online reparation possible, little costs	plant stop, warm start possible, standstill of the plant < 2 days	plant damage, cold start necessary, standstill of the plant 1 to 3 weeks	critical plant damage concerning the whole plant or plant sections, standstill of plant > 8 weeks	enormous plant destruction/damage concerning the whole plant

La matrice des risques est subdivisée en trois régions [5] :

- *La région acceptable (Acceptable*) :
  Les risques se situant dans cette région sont généralement considérés comme insignifiants et contrôlés de façon adéquate. Les niveaux de risque qui caractérisent cette région sont comparables à ceux qui sont considérés comme insignifiants ou triviaux par le public dans leur vie quotidienne. Ces risques sont en général associés aux activités qui sont peu dangereuses par nature ou aux activités dangereuses qui peuvent et qui sont contrôlées de façon à représenter un faible risque. Des actions supplémentaires pour réduire ces niveaux de risque ne sont souvent pas requises.
- *La région praticable dans la mesure du raisonnable (As Low As Reasonably Practicable (ALARP))*
  Les risques se situant dans cette région correspondent habituellement aux risques que le public est prêt à tolérer pour assurer un profit, sous réserve que la nature et le niveau de risque soient correctement évalués et que les résultats issus de cette évaluation soient correctement utilisés pour déterminer les *mesures de contrôle* appropriées. Si les événements potentiellement dangereux se situent dans la région ALARP, cela ne signifie pas que le risque total de l'installation est ALARP, mais qu'il est nécessaire de décider si des mesures de réduction des risques supplémentaires sont nécessaires.
  Pour les risques résiduels se trouvant dans la région ALARP, des mesures de réduction de risques supplémentaires peuvent ne pas être justifiable et raisonnable d'un point de vue économique. Dans tous les cas, l'équipe d'évaluation des risques doit discuter des points suivants:
  - Le risque résiduel est-il acceptable?
  - Est-il possible d'adopter des contre-mesures supplémentaires?

  Les risques se situant dans cette région doivent être réévalué régulièrement pour s'assurer qu'ils soient ALARP.
- *La région inacceptable (Unacceptable region)*
  Les risques se situant dans cette région sont inacceptables et **doivent obligatoirement** être réduits à un niveau ALARP grâce à l'adoption de contre-mesures.

4.5 Mesures de réduction de risques (contre-mesures)

Un risque inacceptable exige l'application de mesures de réduction des risques permettant de le déplacer dans la région ALARP de la matrice des risques. Concrètement, cela consiste à diminuer la fréquence et/ou la gravité d'un évènement dangereux.

Le diagramme Nœud Papillon présenté à la figure 4.5 peut être utilisé à cette fin. La colonne 'Top event' du diagramme marque le dysfonctionnement de la fonction examinée. Cette technique est flexible et tout évènement peut être utilisé comme 'Top event'. Les colonnes à gauche (Hazardous Events) et à droite (Consequence) de la colonne 'Top event' contiennent respectivement les évènements initiateurs et les conséquences du 'Top event'. Le diagramme Nœud Papillon peut aider à déterminer ce qui peut être fait pour réduire le risque à un niveau acceptable. En effet, le diagramme représente également les barrières de sécurité (figure 4.5):

- Les barrières de sécurité entre les colonnes 'Hazardous Events' et 'Top Event' correspondent à des *mesures de prévention* qui permettent la diminution de la probabilité d'occurrence / fréquence du 'Top Event'.

- Les barrières de sécurité entre les colonnes 'Top Event' et 'Consequence' correspondent à des *mesures de mitigation* qui permettent la diminution de la gravité et/ou probabilité d'occurrence de ces conséquences.

Différents types de contre-mesures peuvent être appliqués:

- *Contre-mesures techniques*: cela consiste en la mise en place de modifications techniques telles que des changements dans la conception (design) du procédé, l'ajout ou le remplacement de certains éléments du procédé, etc.
- *Contre-mesures de contrôle:* cela correspond aux changements appliqués aux systèmes de contrôle du procédé. Cela peut consister en l'ajout de nouveaux dispositifs de contrôle sur la chaîne de procédé (ex. thermocouple, capteurs de pression, capteur de CO, etc.) avec le système d'alarme approprié. La mise en place de ces nouveaux systèmes de contrôle doit s'accompagner de la mise en place d'un système adéquat de gestion des situations d'urgence.
- *Contre-mesures organisationnelles:* cela correspond aux activités relatives à l'organisation du travail.

Toutes ces contre-mesures doivent être enregistrées dans le manuel d'opération et de maintenance.
Par conséquent, la procédure d'évaluation des risques n'est pas un processus direct [22]. En effet, la mise en oeuvre de contre-mesures peut modifier le procédé originel. Des évènements dangereux supplémentaires peuvent apparaître. Une réévaluation des risques sur le procédé modifié peut être nécessaire.

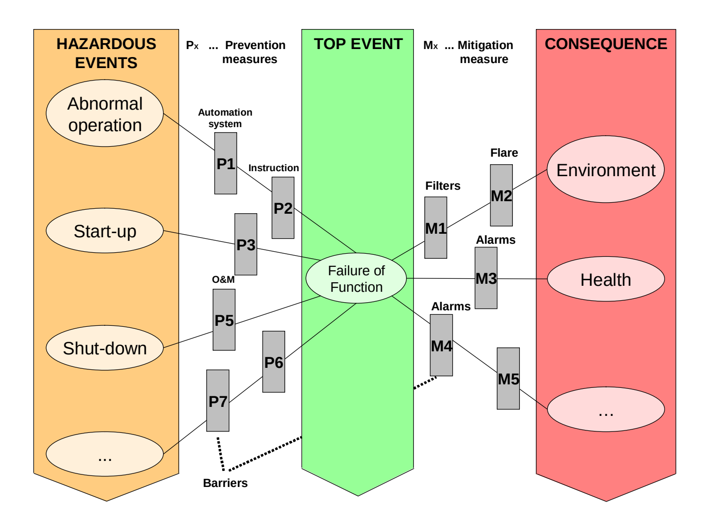


Figure 4.5 Diagramme Nœud Papillon

4.6 Documentation de l'évaluation des risques

La documentation de l'évaluation des risques est essentielle pour la traçabilité. Cela est en général présenté sous la forme d'un tableau comprenant des listes structurées d'évènements et leurs conséquences potentielles. Une telle méthode peut être mise en oeuvre avec l'assistance d'un logiciel qui apporte une aide considérable pour la structuration de la documentation et le placement de recoupements sur des évènements et conséquences récurrents.

4.7 Outil logiciel pour l'évaluation des risques

Un outil logiciel (appelé RISK ANALYSER) a été développé pour faciliter la réalisation de l'analyse des risques proposés dans ce guide. Les problèmes HSE des usines de

gazéification de biomasse de petite échelle peuvent être traités de façon très structurée si l'évaluation est réalisée à l'aide de l'outil logiciel.
Le logiciel s'adresse à plusieurs groupes cibles: exploitants en premier lieu, développeurs de projets, chercheurs, et responsables de la mise en oeuvre d'usine de gazéification. Le logiciel peut également être utilisé pour des procédés autres que la gazéification de biomasse.
Dans le logiciel, une méthodologie d'évaluation de risques praticable et suffisante pour être appliquée aux usines de gazéification de biomasse à petite échelle est mise en oeuvre. La méthode choisie est basée sur la méthode HAZOP et est élargie par des caractéristiques spécifiques aux usines de gazéification de biomasse.
La procédure d'évaluation des risques du logiciel comporte les étapes suivantes:

1. *Définition des données de base de l'usine*
   Cette étape permet d'entrer des informations de base (nom du projet, constructeur, exploitant, puissance calorifique, etc.)
2. *Définition des unités du procédé*
   L'usine est subdivisée en unités correspondant généralement aux étapes du procédé, ex. gazogène, refroidissement des gaz, lavage des gaz, conditionnement des gaz, et utilisation des gaz.
3. *Définition des fonctions*
   Les fonctions remplies par chaque unité doivent être définies (ex. alimentation en combustible du gazogène). Elles constituent une base pour l'évaluation des risques.
4. *Définition des modes de fonctionnement*
   Dans cette étape, une brève description du mode de fonctionnement pendant la mise en marche, l'arrêt, le fonctionnement normal et l'arrêt d'urgence est requise. Cela sera utile à l'identification des dangers pour les différents modes de fonctionnement.
5. *Définition des parties*
   Les fonctions sont remplies par différentes parties qui doivent être définies. Les données suivantes sont requises :
   - Paramètres de conception (pression, température, débits, pour tous modes de fonctionnement, ainsi que les valeurs minimum et maximum);
   - Informations sur les substances utilisées (données sécurité, niveaux de température et pression, etc.);
   - Informations complémentaires si nécessaire (optionnel).

   Ces informations globales doivent être suffisantes pour la conduite de l'évaluation des risques.
6. *Évaluation des risques*
   Le logiciel permet la réalisation de l'évaluation des risques en proposant une liste d'évènements potentiellement dangereux et de conséquences potentielles. Le logiciel évalue le risque potentiel selon la matrice des risques proposée.
   Remarque importante : pendant la première évaluation des risques, le design conceptuel de l'usine et son mode de fonctionnement d'origine sont examinés. Des contre-mesures pour la réduction des risques sont ajoutées dans l'étape suivante.
7. *Contre-mesures*
   La mise en place de contre-mesures est réalisable avec ce logiciel qui permet également une réévaluation des risques sur une configuration de procédé modifiée. La description de contre-mesures peut se faire par catégories (contre-mesures techniques, de contrôle et organisationnelles). Une édition des

procédures de fonctionnement est également possible. Les mesures de contrôle automatisées peuvent être documentées pour chaque mode de fonctionnement.

8. *Résumé*

   Le résumé constitue la dernière étape. Il donne une vue d’ensemble du design conceptuel de l’usine (avant application des contre-mesures), des fonctions et des parties. Les résultats de l’analyse des risques sont documentés pour chaque fonction examinée. Les améliorations issues des contre-mesures sont également indiquées.

À l’issue de l’évaluation des risques sur le procédé entier, un rapport peur être généré. Il peut être utilisé comme document correspondant à l’analyse des risques.

5 Dangers potentiels et principes de bonnes pratiques de conception

5.1 Introduction

Ce chapitre décrit brièvement les mesures de sécurité associées à la conception, au fonctionnement et à la maintenance des usines de gazéification de biomasse (BGPs).
Il est essentiel dans le processus d'analyse des risques de réaliser en premier lieu une évaluation des dangers. Il s'agit ensuite d'évaluer les risques qu'ils représentent, de déterminer les mesures de réduction des risques qui doivent être prises, s'il en existe.

Une bonne pratique consiste à appliquer un certain nombre de bons principes d'ingénierie lors de la conception de l'usine tout en appliquant une certaine hiérarchie dans la maîtrise des risques. La priorité est donnée :

- à l'élimination du danger devant le contrôle du danger,
- au contrôle du danger devant l'utilisation des équipements de protection personnels.

L'adoption d'une approche holistique est importante dans le but de s'assurer que les mesures de réduction du risque adoptées pour contrôler un certain danger n'augmentent pas de façon disproportionnée les risques liés à d'autres dangers, ni ne compromettent les mesures de contrôle du risque qui y sont associés. Quand cela est approprié, l'équilibre entre les risques pour les employés et les risques pour le public doit être pris en compte. Il en est de même pour l'accroissement du risque lors des situations d'urgence.

Dans le document "Guidance on 'as low as reasonably practicable' (ALARP) decisions in control of major accident hazards (COMAH)", les trois principes importants suivants sont définis [27] :

Principe 1
"Le HSE (Health and Safety Executive) s'attend à ce que les contrôles appropriés soient mis en place pour contrôler tous les dangers significatifs et que ces contrôles, au minimum, doivent suivre les bonnes pratiques faisant autorité, indépendamment des niveaux de risques spécifiques estimés."

Principe 2
"La zone qui se trouve entre les régions inacceptable et largement acceptable est la région tolérable. Les risques dans cette région sont caractéristiques des risques provenant d'activités que les gens sont préparés à tolérer dans le but d'en tirer un certain profit, sous réserve que :

- La nature et le niveau des risques soient correctement évalués et que les résultats de l'évaluation soient correctement utilisés pour déterminer les mesures de contrôle ;
- Les risques résiduels ne soient pas excessivement élevés et maintenus dans la région ALARP ;
- Les risques soient régulièrement réévalués pour s'assurer qu'ils sont ALARP, par exemple, en déterminant si des contrôles plus poussés ou nouveaux

doivent être mis en place pour prendre en compte des éventuels changements (nouvelles connaissances en matière de risque et nouvelles techniques de réduction et d'élimination des risques)."

Principe 3
"Le niveau de risque individuel et les préoccupations sociétales engendrés par une activité ou un procédé doivent être pris en compte quand il s'agit de décider si un risque est acceptable, tolérable ou largement acceptable" et "les dangers qui gênèrent … des risques individuels gênèrent également des préoccupations sociétales et ces dernières jouent souvent un rôle plus important dans la prise de décision pour savoir si un risque est inacceptable ou pas".

5.2 Premières considérations relatives à la sécurité

Les risques professionnels correspondent aux dangers et aux risques inhérents à certains emplois ou lieux de travail. Les problèmes relatifs à la santé et à la sécurité au travail doivent être pris en compte dans une évaluation complète des dangers et des risques, comprenant par exemple une étude de danger du type HAZID, une étude HAZOP, ou d'autres études d'évaluation de risques. Les BGPs présentent des risques professionnels de différentes natures : physiques, chimiques, environnementaux, mécaniques, psychosociaux, etc… La plupart de ces dangers ne sont pas spécifiques aux BGPs, par exemple : chutes de plain-pied, circulations internes, effondrement et chute d'objets, les transports sur le lieu de travail, électricité, bruit, vibrations, foudre, air comprimé, fluides sous pression, espaces confinés, stress lié à la température du lieu de travail (chaleur ou froid), concassage, broyage, frottements et abrasions, mouvements de véhicules, impacts, éléments mobiles, stress au travail, etc…
Les opérateurs/exploitants doivent être conscient de ces différents aspects des risques professionnels et des réglementations correspondantes et prendre les mesures de sécurité appropriées.
Le Health and Safety Executive (UK) fournit sur son site internet une liste des dangers qui doivent être pris en considération sur le lieu de travail. Des directives relatives à la prévention et la gestion de ces dangers y sont également disponibles.

L'Institut National de Recherche et de Sécurité (INRS) propose également un guide sur les différents types de risques professionnels à l'adresse suivante :
http://www.inrs.fr/htm/frame_constr.html?frame=/INRS-PUB/inrs01.nsf/IntranetObject-accesParReference/ED%20840/$File/Visu.html

Un guide similaire est disponible en allemand ("Ratgeber zur Ermittlung gefährdungsbezogener Arbeitsschutzmaßnahmen im Betrieb) sur le site internet du German Federal Institute for Occupational Safety and Health (BAuA):
http://www.baua.de/nn_12456/de/Publikationen/Sonderschriften/2000-/S42.html?__nnn=true

Chaque activité peut présenter des risques professionnels inhérents et spécifiques. Ce chapitre met en avant les dangers spécifiques aux procédés de gazéification, tel que les incendies, les explosions/déflagrations, les substances toxiques, etc.

Dans ce chapitre, une attention particulière sera portée sur l'identification des mesures de précaution à prendre en matière de santé et de sécurité. Ces mesures

sont basées sur l'expertise des membres du consortium et de consultants externes, qui se réfèrent à des informations généralement disponibles et à des informations recueillies lors des études de cas. Comme indiqué dans le Chapitre 1, certains groupes cibles peuvent avoir des conflits d'intérêts, comme par exemple utilisateur final contre autorité compétente en matière de permis, ou constructeur contre propriétaire d'usine. Par conséquent, il est nécessaire d'avoir une compréhension aussi complète que possible des préoccupations relatives aux aspects HSE et des meilleures pratiques acceptées par la communauté internationale.

5.3 Bonnes pratiques d'ingénierie et de fonctionnement

De bonnes pratiques de conception et de construction, se basant sur une évaluation des risques et/ou une étude HAZID/HAZOP convenables, sont obligatoires pour mettre une usine de gazéification de biomasse sur le marché. La plupart des évaluations des risques offrent une vue d'ensemble des risques et n'est pas destinée à être exhaustive sous tous ses aspects. Ces évaluations de risque peuvent créer des problèmes de responsabilité et générer une fausse impression de sécurité.
Les paragraphes suivants donnent une vue d'ensemble des bonnes pratiques d'ingénierie, et ne sont pas obligatoires pour tous les types de gazogène (ex. les problèmes de sécurité sont différents si le gazogène fonctionne en sur-pression ou sous-pression, etc.).

5.3.1 Bonnes pratiques pour la construction des bâtiments de l'usine

Lors de la conception des bâtiments de l'usine de gazéification, un certain nombre d'éléments relatifs à la santé, la sécurité et l'environnement doit être considéré :

- Le lieu de stockage du combustible doit être physiquement séparé du bâtiment de gazéification (dans un local différent ou en utilisant un rideau coupe-feu de haute performance).
- Pour des raisons de sécurité, les locaux abritant le personnel et la salle de contrôle doivent être séparés du reste de l'usine à cause des risques d'explosion, d'incendie et d'émission de gaz toxiques.
- Les salles de contrôle doivent être équipées de ventilation à pression positive (une attention particulière doit évidemment être portée au lieu de prise d'air).
- Le bâtiment de gazéification doit être bien ventilé et les débits contrôlés ou vérifiés dans les zones opérationnelles critiques.
- Le bâtiment de gazéification doit être équipé d'au moins deux chemins d'évacuation vers l'extérieur.
- La directive ATEX requiert que les zones classées à risque soient identifiées avec un panneau d'avertissement. Le panneau doit être triangulaire, noir sur fond jaune avec le texte EX et affiché à chaque point d'entrée d'atmosphère explosive. Il est recommandé qu'une étude soit menée pour identifier les zones qui doivent être contrôlées selon cette réglementation.
- Les équipements bruyants qui excèdent un certain niveau sonore, tels qu'un compresseur ou un moteur, doivent être placés dans des locaux/cabines insonorisés.

5.3.2 Bonnes pratiques pour les équipements du procédé

Il relève de la responsabilité du constructeur d'avoir de bonnes pratiques d'ingénierie pour la conception des équipements du procédé. Si l'usine est correctement conçue en accord avec la Directive Machine, les dangers de base devraient être éliminés.

Choix des matériaux

- Les réacteurs, les vannes et les tuyauteries doivent être fabriqués à partir de matériaux de bonne qualité.
- Le gazogène et le système de refroidissement de gaz doivent être fabriqués en acier inoxydable résistant à la chaleur ou un autre matériau approprié.

Étanchéité au gaz

L'étanchéité au gaz est importante pour éviter des fuites de gaz et les entrées d'air, entraînant la formation de mélanges explosifs et/ou le dégagement de gaz toxiques. Les bonnes pratiques d'ingénierie suivantes sont appropriées pour assurer une étanchéité au gaz :

- L'utilisation de connexions soudées est préférée à l'utilisation de brides de raccord, en particulier pour les conduites de plus de 500°C. Dans tous les cas, des joints (pour des brides de raccord) appropriés doivent être utilisés (matériaux à résistance chimique et thermique);
- Toutes les conduites et appareils de mesures doivent être fabriqués dans un matériau adéquat ;
- Des matériaux adéquats doivent être utilisés pour leur propriété en matière de résistance aux produits chimiques, à la température, aux pressions, à la corrosion et aux particules.

Vannes

- Toutes les entrées d'air et sorties de gaz du gazogène (y compris la section d'alimentation en combustible), de la torchère et du moteur doivent être équipées de dispositifs d'isolement ou de vanne anti-retour de flamme en série (l'un après l'autre sur la même ligne).
- Lorsque des vannes sont en contact avec les gaz issus de la gazéification ou de la pyrolyse, elles peuvent se bloquer.
- Les vannes utilisées pour assurer la sécurité en cas de pannes et d'arrêt d'urgence doivent être de type "fail-safe".
- Les vannes sur les conduites d'air, les filtres et cyclones doivent être équipées de microrupteurs.
- Un mauvais réglage des vannes manuelles ne doit pas être rendu possible. Un dysfonctionnement des vannes clés doit pouvoir être détecté.

Appareils électriques

- Il est recommandé que toutes les conduites de gaz soient mises à la terre.
- Les automates programmables industriels (API) doivent être correctement mis à la terre pour éviter les dysfonctionnements et les incidents.
- Une séparation galvanique de l'alimentation électrique des dispositifs de mesure est fortement recommandée.
- Les APIs doivent être alimentés par une alimentation sans interruption (ASI, ou en anglais UPS, Uninterruptible Power Supply).
- Il est recommandé de dupliquer les points de mesure sur les unités clés de l'usine (température et pressions critiques, etc.). Un système de contrôle secondaire doit pouvoir être utilisé en cas d'urgences ou de panne des APIs principaux.
- Les conduites d'alimentation en air/gaz du moteur doivent être mises à la terre. Des câbles blindés doivent être utilisés pour éviter les pannes

électriques qui peuvent conduire à un retour de flammes dans le système d'alimentation.

- Dans des équipements susceptibles de contenir un mélange gaz/air, l'instrumentation et les équipements électriques doivent être compatibles Zone 1, autrement les équipements doivent être sécurisés. Dans le gazogène, les équipements doivent être compatibles Zone 2. De nombreuses usines ont été construites dans des zones découvertes. Le zonage étant fonction de la ventilation du bâtiment, une étude pour déterminer le zonage adéquat pour chaque partie de l'usine est vivement recommandée.
- Les équipements suivants doivent être équipés d'interrupteurs de sécurité et de disjoncteurs locaux :
  - Éléments rotatifs et interrupteurs
  - Tableaux de distribution
  - Dispositifs de protection contre les surpressions
  - Vannes critiques avec accès aux équipements contenant du gaz tels que les dispositifs d'alimentation en combustibles, cyclones et systèmes de retrait des cendres.
- L'utilisation de boutons d'arrêt d'urgence (E-Stops) doit être prise en considération.

Dispositifs de contrôle et de sécurité

- Il est recommandé d'installer des détecteurs de gaz dans les locaux habitant des équipements qui contiennent des gaz issus de la gazéification ou de la pyrolyse. Ces détecteurs de gaz doivent être équipés d'un affichage et d'une alarme réglée à 25/50 ppm pour CO.
- Les capteurs de pression et de température faisant partie du système de sécurité doivent être doublés ou triplés. La probabilité de panne doit être estimée en fonction du type (ou degré) d'installation et d'utilisation.
- Les échangeurs de chaleur gaz/air peuvent constituer des sources de danger en cas de fuite entraînant la mise en contact des deux fluides, par ex. à cause de fissures dues à la chaleur ou à la corrosion. Il en est de même pour les joints de dilatation dans les longues conduites soudées. Les dangers liés à ces types de dysfonctionnements devraient être évités par l'utilisation d'équipements bien conçus et par l'utilisation de capteurs de température et d'oxygène en aval permettant de détecter les fuites.
- La modification des dispositifs de sécurité ne doit pas être rendue possible.
- Touts les niveaux d'alarme doivent être spécifiés dans le manuel avant la mise en marche de l'usine.
- Les dispositifs de mesure de température doivent être installés avant et après l'installation des principaux composants du réacteur principal. Les températures de fonctionnement préférables et permises doivent être à la disposition des opérateurs dans les documentations adéquates. Ces températures doivent être sécurisées par des niveaux d'alarme appropriés.

Éléments rotatifs ou mobiles

- Les éléments mobiles de l'usine, tels que les courroies transporteuses, les moteurs peuvent générer un risque d'explosion de gaz. Ils doivent être protégés, équipés d'indications visibles et d'arrêts d'urgence.
- Lorsque l'installation est momentanément à l'arrêt (en stand-by), les surpresseurs et autres éléments rotatifs sur les lignes de gaz doivent être entretenus. Autrement, ceux-ci peuvent être sujets à la corrosion ou se bloquer sous l'effet de la condensation de composés goudronneux, et entraîner une panne du système.

Surfaces chaudes

- Il peut y avoir plusieurs surfaces chaudes dans l'usine qui peuvent générer un risque d'explosion de gaz ou de poussières. Ces surfaces chaudes peuvent également présenter un risque de brûlure pour les opérateurs. Les équipements de l'usine qui génèrent un risque lié à leur température élevée doivent être correctement identifiés et protégés de façon à réduire ce risque.
- Les opérateurs doivent recevoir une formation sur les risques reliés aux surfaces chaudes et l'utilisation des équipements de protection individuels (ex. gants, vêtements isolants, etc).

Torchage

- La torchère, ou tout autre dispositif similaire pour brûler les gaz, est utilisée quand la qualité du gaz ne permet pas son utilisation dans le moteur à gaz, ou en cas de panne du moteur à gaz.
- En cas de blocage des vannes en contact avec le gaz de gazogène, les gaz doivent être automatiquement évacués vers la torchère.
- Les réacteurs de gazéification devront générer du gaz et l'évacuer vers le moteur, tout en purgeant les conduites de gaz entre le gazogène et le moteur. Au démarrage, le mélange de gaz passera donc toujours par la limite inférieure d'explosivité et la limite supérieure d'explosivité.
- La torchère doit être équipée de :
  - un système d'allumage automatique ;
  - un système de contrôle de flammes avec alarme ;
  - des joints d'eau ou arrête flammes.

Une étude HAZOP est recommandée pour comprendre les problèmes liés au torchage des gaz et identifier les mesures de sécurité appropriées (ex. purge au gaz inerte).

Équipement de sécurité

Les équipements de sécurité et outils suivants devraient être présents dans chaque pièce (ou bâtiment) de l'usine :

- Alarme incendie et dispositifs d'extinction, conformes aux spécifications techniques internationalement reconnues et adaptés à la nature et aux quantités de matériaux combustibles et inflammables stockés dans l'usine.
- Système de détection de CO
- Matériel de lutte contre l'incendie
- Équipement de protection individuel : casques anti-bruits, lunettes de protection, gants, équipements respiratoires, détecteurs personnels de CO
- Équipement d'urgence : douche, trousse de secours

5.3.3 Recommandations pour les procédures d'opération et de contrôle

Les procédures importantes de contrôle et d'opération, qui doivent être prise en considération, comprennent les procédures de démarrage (à chaud ou à froid), de fonctionnement normal, d'arrêt normal, d'arrêt d'urgence. Ces procédures doivent être prises en compte dans l'étude HAZOP et décrites dans le manuel d'opération et de maintenance.
Il est recommandé de développer et de mettre en œuvre des procédures systématiques de démarrage, de fonctionnement normal et d'arrêt normal pour l'usine de gazéification dans son ensemble (préchauffage, allumage du gazogène, fonctionnement normal, etc.) pour éviter les erreurs humaines lors des opérations manuelles. Des procédures du type "fail-safe" doivent faire partie intégrante du concept de fonctionnement de l'usine.

Procédures de démarrage normal et d'arrêt

- Au démarrage, il est recommandé purger les composantes du système (conduites, …) au gaz inerte (ex. azote) pour en retirer l'oxygène.
- Comme le montre l'expérience, la plupart des accidents ont lieu lors des opérations de démarrage et d'arrêt. Les opérateurs doivent être avisés de ne pas rester à proximité des composants du système (gazogène, cyclones, filtres, etc.…) qui contiennent des substances inflammables pendant ces opérations.
- Lors du démarrage de l'usine, lors d'un arrêt d'urgence ou en cas de blocage de vannes, les gaz doivent être automatiquement évacués vers la torchère.
- Si le moteur à gaz doit être arrêté pour quelconque raison, tout gaz résiduel doit être évacué automatiquement vers la torchère (action de vannes) par le système d'automatisation et de contrôle. Si le moteur ne peut être redémarré (après deux tentatives), la procédure d'arrêt d'urgence doit être lancée.

Procédure de fonctionnement normal

- Les procédures pour les interventions manuelles pendant le fonctionnement normal de l'usine doivent être correctement consignées dans le manuel des opérations et de maintenance.

Procédure d'arrêt d'urgence

- Les résultats des études Hazid et Hazop doivent être pris en compte lors du développement du manuel d'opérations de l'usine et lors du choix des contrôles SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition – télésurveillance et acquisition de données) appropriés.
- Les mesures d'arrêt d'urgence doivent normalement inclure :
  - Arrêt de l'alimentation du gazogène en combustible
  - Arrêt de l'alimentation en air du gazogène
  - Déviation du gaz vers la torchère
  - Remarque : l'inertage à l'azote du gazogène n'est pas efficace, ce dernier contenant de larges quantités de combustible et de charbon.
- Des procédures d'évacuation doivent être en place
- Les opérateurs et les visiteurs doivent recevoir, pendant leur initiation, une formation appropriée sur les procédures d'évacuation et les procédures d'urgence.
- Pendant les opérations de maintenance de l'usine, les opérateurs doivent éviter tout contact avec des liquides toxiques et l'inhalation de gaz toxiques ou

suffocants. Les opérations de maintenance doivent être correctement documentées et les opérateurs doivent suivre les procédures mises en place.

5.3.4 Précautions supplémentaires

Il est recommandé d'appliquer les précautions supplémentaires suivantes :

- Les opérateurs doivent être conscients qu'il peut arriver fréquemment que les composés goudronneux et de vapeur d'eau se condensent dans la conduite de gaz de gazogène, les réacteurs et les vannes. La conception de l'usine et les procédures de maintenance doivent prendre cela en compte. Pour cela une bonne compréhension des effets de la température et de la pression sur la condensation des composés en phase vapeur est nécessaire.
- De la condensation peut se produire au niveau du mélangeur air/gaz précédant le moteur à gaz, quand par exemple la température extérieure est basse ou l'air très humide. Les condensats peuvent être à l'origine de phénomènes similaires aux coups de bélier (steam hammer or knocking) qui peuvent endommager le moteur à gaz. Une bonne pratique consiste à contrôler la température de l'air – préchauffer l'air si nécessaire – et à contrôler l'humidité du gaz entrant dans le mélangeur. Pour les moteurs modernes contrôlés électroniquement, cela est moins pertinent.
- Les composants de l'usine doivent être capables de résister aux surpressions mais également aux sous-pressions. En effet des sous-pressions peuvent se produire par refroidissement après l'arrêt de l'usine.

5.4 Problèmes liés à la sécurité

Plusieurs évènements dangereux peuvent survenir, ayant différentes conséquences. Les principaux problèmes[5] de sécurité pendant le fonctionnement et/ou la maintenance des usines de gazéification sont liés à :

- Toxicité/asphyxiation (ex. dégagements incontrôlés de gaz et liquides potentiellement dangereux),
- Explosions/déflagrations.
- Incendie,
- Erreur humaine.

Pour chaque problème de sécurité, les paragraphes suivants décrivent :

- Les lieux et les instants auxquels les problèmes peuvent survenir,
- L'impact potentiel de ces problèmes, et

---

[5] Plusieurs autres événements peuvent se produire, mais ils ne sont pas déterminants pour la santé, la sécurité et l'environnement. Ces dangers mineurs sont décrits dans le tableau 4.1 et l'Annexe C.

- Les mesures de correction possibles permettant de mettre en œuvre de meilleures pratiques.

5.4.1 Explosion / déflagration

Quand:

- Les explosions de gaz peuvent survenir dans les usines de gazéification quand un mélange de gaz combustibles (CO, H_2 et hydrocarbures supérieurs) et d'oxygène, dans l'intervalle d'explosivité correspondant, rencontre une source d'inflammation.
- Une usine de gazéification passe de manière routinière par la limite inférieure d'explosivité (LIE) et la limite supérieure d'explosivité (LSE). La concentration limite en oxygène dépend de la composition du gaz de gazogène, de l'humidité, de la température et de la pression. Pour H_2 et CO, à température ambiante et pression atmosphérique, la concentration limite en oxygène est d'environ 4%. Ces conditions dangereuses peuventêtre réunies en particulier pendant le démarrage, l'arrêt et la situation d'urgence correspondant à une entrée d'air incontrôlée (ex. présence de fuites).
- Une atmosphère explosive peut se former suite à une perte de confinement de liquides inflammables. Cela dépend de la volatilité du liquide, du point d'éclair, de la densité de vapeur. Une attention particulière doit être portée aux milieux auxiliaires stockés sur site.
- Les explosions de poussière peuvent survenir dans les usines de gazéification quand un mélange de poussières et d'air, dans des concentrations particulières, rencontre une source d'inflammation. La sévérité des explosions dépend de plusieurs paramètres tels que la taille des particules, le degré de confinement du bâtiment, etc.
- Une attention particulière doit être portée aux mélanges hybrides, combinaison de poussières et de gaz/vapeurs inflammables.
- Les sources d'inflammation potentielles comprennent l'électricité statique, les particules incandescentes (résidus charbonneux, biomasse partiellement convertie), les étincelles d'origine électrique ou mécanique (venant d'un moteur électrique d'un surpresseur par exemple), travaux à haute température (soudure, découpe, meulage, sciage), les surfaces chaudes, auto-inflammation de couches de poussière et flamme nue.
- Les gaz issus de la gazéification peuvent s'enflammer spontanément (auto-inflammation) au-dessus de ca. 600 – 650°C. Si une petite quantité d'air est ajoutée au gaz à haute température, ou vice versa, une combustion se produit à l'interface air/gaz. Si l'air et le gaz se mélangent sans qu'il n'y ait réaction immédiate et que ce mélange s'enflamme par contact avec une source d'inflammation externe, telle qu'une étincelle ou une particule incandescente, une explosion de gaz peut avoir lieu. La vitesse de réaction et le pic de pression dépendent du degré de turbulence et de confinement du mélange gazeux.

Où :

- Dans les sections de l'usine sujettes à des augmentations de pression (ex. après un surpresseur), il existe un risque de fuite de gaz dans l'atmosphère. L'explosion pourrait dans ce cas se produire à l'‘extérieur de la section concernée. Pareillement, une souspression peut entraîner une entrée d'air à l'intérieur d'une section de l'usine et une explosion peut y avoir lieu.

- Une circulation à contre sens du gaz de gazogène pourrait avoir lieu en cas de fonctionnement défectueux des vannes et ainsi générer un danger.
- Bien que le gazogène fonctionne dans des conditions sub-stœchiométriques, des concentrations plus élevées en oxygène localisées peuvent se produire, ce qui peut résulter en une augmentation rapide de température et en une formation de mélange explosif. Cependant, à températures élevées, la pression maximum d’explosion diminue et une déflagration classique à faible vitesse (“Verpuffung”) peut survenir.
- Dans la section de lavage de gaz, une éventuelle explosion serait sévère à cause du volume important de gaz. Dans la plupart des cas, l’inflammation serait causée par des éléments incandescents (charbon/cendre) entraînés avec le gaz brut.
- Dans la torchère, un phénomène de retour de flamme vers la section de lavage des gaz peut survenir.
- Dans la section d’alimentation en gaz du moteur dans le cas où un retour de flamme du moteur se produirait.
- Dans la section de retrait des cendres dans le cas où des cendres riches en carbone serait produites.
- Pendant les opérations de réparation (en particulier, soudure, découpe, meulage, sciage). Si le système contient encore du gaz, une explosion pourrait survenir.
- Dans la zone de stockage du combustible, dans la section d’alimentation en combustible et aux endroits où une quantité importante de poussière est présente, une explosion peut survenir suite à la formation d’un nuage de poussière. Cela dépend de la nature de la biomasse traitée et de la taille des particules.
- Une attention particulière doit être portée aux milieux auxiliaires tels que gaz naturels ou gaz propane. Comme ces fluides sont stockés sous pression, un risque de fuite de gaz existe.

Ce qui se passe:

- Dans la plupart des cas, il se produit des explosions mineures appelées déflagration à faible vitesse (“Verpuffung” en allemand), causées par des opérations instables où un mélange explosif localisé est présent pendant une courte période.
- En théorie et en pratique, il est connu que la pression dans le système résultant d’une explosion dépend de la composition du gaz de gazogène et de la température à l’endroit où se produit l’explosion/déflagration.
- La pression résultant de l’explosion de mélanges poussière (bois)/air est similaire à celle des mélanges gaz/air. Les explosions de poussière peuvent être sévères principalement à cause du volume important de mélange explosif obtenu lorsqu’une grande quantité de poussière est dispersée dans l’air. La sévérité des explosions dépend du degré de confinement, qui, dans le cas des BGPs, est le plus élevé dans les équipements où les gaz sont présents (et non les poussières).
- Une explosion de gaz ou de poussière peut causer des dommages importants aux bâtiments, aux équipements et au personnel.
- Une explosion de gaz ou de poussière peut être à l’origine d’un incendie.

Mesures de réduction possibles :
Les mesures suivantes sont spécifiques aux usines de gazéification de biomasse :

- Les usines de gazéification doivent être conçues, construites et exploitées selon les normes internationales relatives à la prévention et au contrôle des risques d'incendies et d'explosion. Cela inclus les dispositions relatives aux distances de sécurité à appliquer entre les réservoirs dans l'usine et entre l'usine et les bâtiments adjacents.
- Des procédures de sécurité doivent être mises en œuvre pour l'exploitation et la maintenance de l'usine. Cela comprend l'usage de vannes de type fail-safe, de procédure d'arrêt d'urgence et d'équipements de détection.

Selon la réglementation ATEX, il y a trois types de mesures pour réduire le risque d'explosion :

- Mesures primaires, qui consistent à éviter la formation des atmosphères explosives,
- Mesures secondaires, qui consistent à éviter les sources d'inflammation, et,
- Mesures tertiaires, qui consistent à atténuer les effets des explosions.

De plus, des mesures générales sont à considérer.

- Mesures primaires: éviter la formation des atmosphères explosives :
  - Dans les sections de l'usine où des surpressions se produisent, les fuites de gaz peuvent mener à une libération de CO et H_2 dans l'atmosphère. Dans le cas opposé, lors de sous-pressions, O_2 peut pénétrer dans la section de l'usine. Par conséquent, des capteurs à oxygène (sondes à oxygène) doivent être installés à l'intérieur du système (parties en contact direct avec le gaz) pour y contrôler le niveau de O_2 et des détecteurs de CO dans les parties extérieures du système (parties en contact direct avec l'atmosphère) pour y mesurer le niveau de CO. La valeur maximale de O_2 au lieu d'échantillonnage doit être définie en prenant en considération les limites d'inflammabilité et les effets de dispersion dus à la géométrie de l'équipement. (Référence faite à la norme BGR 104[6], qui traite des bonnes pratiques en terme de choix de brides de raccordement, de joints, etc.)
  - Lors de la mise en route, la formation d'atmosphère explosive peut être évitée en fonctionnant en mode "combustion" ou en réalisant une purge à l'azote.
  - Après l'arrêt et le refroidissement, le système entier doit être purgé à l'azote (inerte). Les purges avec de l'air sont également utilisées, mais cela n'est pas recommandé car cela impliquerait l'élimination préalable des sources d'inflammation (mesure secondaire).

[6] BG-Regel 104 „Berufsgenossenschaftliche Regeln für die Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit - Explosionsschutz-Regeln“, Ausgabe Juli 2008, SMBG

- Le contrôle des poussières est important pour éviter la formation d'atmosphères explosives :
  - Un bon entretien des locaux est un paramètre clé pour éviter la formation d'atmosphères explosives. Cela comprend le retrait des dépôts de poussières et l'entretient des sols.
  - Les locaux doivent être bien ventilés.
  - L'usage de gaz inerte peut aussi être considéré, si cela est approprié.

- Mesures secondaires : éviter les sources d'inflammation:
  - Une mise à la terre correctement réalisée peut prévenir l'accumulation de charges électrostatiques et les risques liés à la foudre (cela comprend les procédures formelles d'utilisation et de maintenance des connexions à la terre).
  - L'utilisation d'installations électriques à sécurité intrinsèque et d'outils anti-étincelants est recommandée.
  - Les opérations de réparation telles que les travaux à haute température (soudure, découpe, meulage, sciage) doivent être sujets à un système d'autorisation de travail (permis de feu) et à des procédures particulières. Les substances inflammables doivent être retirées (et la formation d'atmosphères ou mélanges explosifs doit être prévenue) lors de la réalisation de tels travaux.
  - Le retour de flamme de la torchère peut être évité en utilisant un joint d'eau comme dispositif arrête-flamme (référence EN 12874).
  - Le zonage ATEX permet de déterminer le type ou la catégorie d'équipement à utiliser. Lorsque les zones ont été déterminées, il est nécessaire (en second lieu) d'évaluer les sources d'inflammation potentielles dans ces zones. Le zonage pour les lieux où une atmosphère explosive peuvent se former doit se conformer à la Directive ATEX 1999/92/CE. Il est recommandé de considérer les sections suivantes pour le zonage[7] :
    - Stockage du combustible (risques d'explosion de poussières),
    - Alimentation en combustible,
    - Système de retrait de cendres et poussières,
    - Système d'épuration d'eaux usées,
    - Torchères et systèmes d'allumage auxiliaires,
    - Moteur à gaz et gaz d'échappement,
    - Trou d'homme, trou d'inspection et lieux de prise d'échantillons,
    - Points de mesure et d'instrumentation.

[7] Les mélanges explosifs sous des conditions non-atmosphériques, ex. à température élevée, ne sont pas dans le champ d'application de la Directive 1999/92/EC, auquel cas le zonage peut ne pas être approprié. Les conditions de formation de tels mélanges explosifs ainsi que les mesures de sécurité appropriées doivent être étudiées séparément.

- Stockage de gaz liquéfiés

Le zonage ATEX est basé sur une évaluation des risques d'explosion. De nombreuses usines ont été construites dans des zones découvertes. Le zonage étant fonction de la ventilation du bâtiment, une étude pour déterminer le zonage adéquat pour chaque partie de l'usine est vivement recommandée.

- Mesures tertiaires : mitigation des effets de l'explosion. Il existe des mesures tertiaires appropriées aux usines de gazéification:
  - Construction d'un système qui puisse supporter la pression générée par une explosion : une pression d'explosion d'environ 8 bars a été évaluée dans le cas d'une enceinte unique (non interconnectée). Cependant, la pression maximale d'explosion atteinte dans des enceintes interconnectées sera plus élevée que la pression maximale d'explosion atteinte dans une enceinte unique. Ce phénomène, connu sous le nom de "pressure piling", doit être pris en compte lors du calcul de la pression maximale d'explosion.
  - Utilisation de dispositifs arrête-flammes sous la forme de joint d'eau.
  - Utilisation de dispositifs de décharge d'explosion[9].
- Autres mesures générales :
  - Fumer doit être formellement interdit. Le personnel doit en être formé en conséquence (panneaux "ne pas fumer", formation).
  - Le système entier doit être purgé avant l'allumage lors de la mise en route soit par utilisation d'un excès d'air, soit par un volume de gaz inerte 6 fois plus important que le volume du système.

5.4.2 Incendie

Quand et où:

- Une explosion peut générer un incendie.
- L'auto-inflammation d'un empilement de biomasse humide peut être à l'origine d'un incendie. Ce phénomène peut survenir suite à l'accumulation de chaleur (générée par combustion) au sein de l'empilement, si celui-ci est de taille importante. Il est peu probable que ce phénomène d'auto-échauffement se produise pour des empilements de petite taille.

---

[9] Les dispositifs du type disques de rupture ne sont pas recommandés à cause de leur petite surface d'évacuation et de leur coût. Avec de tels dispositifs, la directive ATEX requiert l'isolation de la section concernée des autres sections du système en installant des arrête-flammes en amont et en aval. Cela tend à compliquer le système dans son ensemble. Dans la pratique des évents du type "spring loaded door" sont utilisés mais ne donnent pas satisfaction. En effet ils peuvent s'encrasser (goudron et poussière) et ainsi se bloquer. Référence faite aux normes EN 14994 (Systèmes de protection par évent contre les explosions de gaz- 2006) et EN 14797 (Dispositifs de décharge d'explosion. – 2005).

- Dans le cas d’une augmentation de température au-delà des températures maximales permises.
- Des étincelles produites par des travaux à haute température (soudure, découpe, meulage, sciage) ou autres, peuvent générer un incendie.
- Un incendie peut être généré au niveau du système d’extraction de cendres chaudes.
- Lors de la phase de décélération du moteur, un mauvais réglage de l’allumage peut mener à la formation d’un mélange riche dans le collecteur d’échappement. Ce mélange peut être suffisamment chaud pour s’enflammer spontanément, si la quantité d’air présente le permet. Si l’allumage survient trop tard, un retour de flamme vers le carburateur peut survenir. Si l’allumage survient trop tôt, il peut y avoir un retour de flamme vers la soupape d’admission, ce qui l’endommagerait. Ces problèmes sont néanmoins moins probables avec les moteurs modernes équipés de systèmes de contrôle intégrés.
- Une panne du système anti-retour de flamme (vannes, vanne rotative, double organe de fermeture) due à un corps étranger, une anomalie dans le dosage de l’alimentation en combustible (appareil ou procédure), etc. peut créer un incendie.
- L’écoulement accidentel de liquides inflammables peut générer un incendie si une source d'inflammation est présente.

C**e qui se passe**:

- Blessures physiques,
- Dégâts ou destruction de l’usine et d’autres bâtiments,
- Peut constituer une source d'inflammation pour une explosion,
- Dégagement de fumées toxiques.

Mesures de réduction possibles:

- Le combustible doit être stocké dans une enceinte fermée résistante au feu ou dans un local ou bâtiment distinct.
- Une cloison ignifugée (avec un temps de résistance au feu spécifié) entre le stockage du combustible et le gazogène peut être requise, en fonction des réglementations locales en vigueur en matière de protection incendie.
- L’installation de systèmes anti-retour de flammes au niveau du gazogène, de la torchère et de l’admission d’air dans le moteur peut être requise par les réglementations nationales en vigueur. Un système humide d’extraction de cendres chaudes (prévention du risque incendie généré par les particules incandescentes) ou un inertage à l’azote au niveau de la vis d’extraction de cendres sont recommandés.
- Il est recommandé de contrôler la température de l’empilement de combustible.
- Une ventilation importante (ventilation naturelle de préférence) est recommandée.
- Un système d’alarme incendie et d’extinction, conforme aux spécifications techniques internationalement reconnues, et adapté à la nature et aux quantités de matériaux combustibles et inflammables stockés dans l’usine, doit être utilisé.

- Les locaux aménagés pour le personnel doivent être protégés par des murs coupe-feu ou être situés à une distance adéquate des unités ou le risque d'incendie est important.
- La prise d'air des systèmes de ventilation doit prévenir toute pénétration de fumée ou de gaz dans les locaux aménagés pour le personnel.
- Un plan sécurité incendie doit être mis en place, appuyé par des ressources et formations nécessaires (incluant les formations à l'utilisation des équipements de lutte contre les incendies et les exercices d'évacuation).
- Des équipements de lutte contre les incendies tels que des extincteurs et des sprinklers doivent être disponibles. (Remarque : la mise en place de système de protection incendie doit être réalisée en coordination avec un expert de l'autorité compétente). Les équipements fixes peuvent également inclure les extincteurs à mousse et des systèmes de protection incendie automatiques ou manuels.
- Tous les équipements de lutte contre les incendies doivent être rangés dans un endroit sûr de l'usine, être protégés par des murs coupe-feu ou être situés à une distance adéquate des unités ou le risque d'incendie est important. Les équipements de détection d'incendie doivent être aptes à être utilisés dans un environnement poussiéreux pour éviter les fausses alarmes ou le déclenchement accidentel des systèmes de lutte contre les incendies.

5.4.3 Dispersion accidentelle de liquide toxique

Quand:

- En cas de fuites dans la section de refroidissement des gaz.
- En cas de fuites au niveau des enceintes/réservoirs de stockage de liquide toxique.
- Pendant les opérations de maintenance de la section de refroidissement des gaz.

Où:

- Les vapeurs d'eau et de goudron condensées peuvent être toxiques. Cela peut être le cas en particulier au niveau des systèmes de traitement humide des gaz (wet scrubbing).
- Les liquides utilisés lors du lavage des gaz et autres liquides utilisés pour la dissolution du goudron ou la lubrification d'éléments mobiles couverts de goudrons (y compris certains dégraisseurs industriels) peuvent être toxiques et caustiques.

Ce qui se passe:

- Le contact avec les liquides toxiques/caustiques peuvent entraîner des blessures physiques, la suffocation, l'irritation des yeux et/ou des voies respiratoires.
- Le liquide peut s'évaporer créant un risque d'inhalation des vapeurs toxiques associées (ex. hydrocarbures aromatiques polycycliques qui sont cancérigènes).
- Les liquides toxiques peuvent représenter un danger de pollution pour l'environnement.
- Si le liquide toxique est également inflammable, un risque de formation de nuages de vapeur inflammable existe.

Mesures de réduction possibles:

- Utiliser des équipements de protection individuels (résistants aux agents chimiques) : gants, lunettes et chaussures de sécurité.
- Utiliser des masques appropriés pour prévenir l'inhalation de vapeurs toxiques.
- Ventilation importante des lieux.
- Les produits stockés dans des conteneurs/réservoirs doivent être collectés et traités par une entreprise certifiée (comme requis dans le permis).
- Réduction des quantités de liquides toxiques/caustiques stockées sur site.
- Kit de nettoyage.
- Utilisation d'outils non-étincellants.
- Inspection régulière des stockages de liquides toxiques/caustiques

5.4.4 Fuites de gaz toxique (CO, PAH)

Quand:

- Des fuites de gaz toxique peuvent survenir lorsqu'une fuite ou une surpression du système se produit. En particulier, lorsque l'usine est à l'arrêt, le système entier est rempli de gaz toxique. Il est important de comprendre qu'après l'arrêt (arrêt normal ou arrêt d'urgence), les réactions de gazéification ont encore lieu pendant un certain temps. Cela peut conduire à une surpression si le gaz n'est pas évacué. Cela s'applique particulièrement aux gazogènes à lit fixe qui contiennent un volume important de combustible.
- Pendant la maintenance de l'usine.
- En cas de dispersion accidentelle de liquide toxique.

Où:

- Joints d'eau en cas de surpression.
- Fuites aux endroits soumis à une surpression.
- Émission de gaz d'échappement.

Ce qui se passe:

- Empoisonnement au CO.
- Il y a un risque d'explosion associé au CO (voir 5.4.1)
- Danger de suffocation (CO, PAH, …).
- Toxicité à court et long termes de certains composants du gaz de gazogène, ex. les hydrocarbures aromatiques polycycliques (PAH) sont cancérigènes.
- Irritation des yeux ou des voies respiratoires.

Mesures de réduction possibles:

- Construire un système étanche, voir 5.5.
- Utiliser des détecteurs de CO portatifs pendant le fonctionnement et la maintenance. Installer des détecteurs de CO fixes, équipés d'un afficheur et d'une alarme réglée à 25/50 ppm, dans les locaux suivants : stockage du combustible, gazogène et moteur à gaz.
- La salle de contrôle doit être équipée d'un système de ventilation à pression positive.
- Ventiler de façon importante les locaux.
- Dans le cas de dispersion de liquides toxiques volatiles, les mesures de réduction citées dans la section 5.4.3 peuvent être appliquées.

5.4.5 Erreur humaine

Uniquement des opérateurs qualifiés et compétents doivent être autorisés à faire fonctionner et à entretenir l'installation. Ceux-ci doivent être formés par le fournisseur de la technologie utilisée ou recevoir une formation à leur poste basée sur le manuel d'opération et de maintenance. Cependant, il existe plusieurs risques potentiels liés à l'erreur humaine, tels que :

- Re-programmation non autorisée du réglage des alarmes. Les niveaux d'alarme doivent être rétablis juste après la résolution d'éventuels problèmes.
- Tout changement du système de contrôle du procédé qui a un rapport avec la sécurité doit être entrepris exclusivement par un membre du personnel spécialement formé et doit être consigné dans un registre de sécurité. Le manuel d'opération doit clairement traiter de ce type d'actions (ex. changement des points de consigne d'alarmes, re-programmation, …).
- Des procédures opérationnelles doivent être en place concernant le nombre d'opérateurs nécessaire pour faire fonctionner l'usine.

5.5 Normes et Standards

Différentes réglementations existent pour la construction et l'exploitation des BGPs. Les directives à appliquer sont listées au chapitre 3. Une liste mise à jour des standards harmonisés relatifs aux directives européennes est disponible sur le lien suivant :
http://ec.europa.eu/enterprise/newapproach/standardization/harmstds/reflist.html.
Les réglementations en vigueur pour l'exploitation des BGPs peuvent être disponibles dans les législations nationales, règles techniques, etc. Elles ne sont pas définies dans des normes ou standards (ex. EN ou ISO).

La conception, la construction et le fonctionnement en toute sécurité des usines de gazéification sont soumis à l'approbation des services d'incendie locaux, des autorités compétentes en charge de la délivrance de permis, et parfois de tiers tel que des inspecteurs, des experts et/ou des autorités environnementales. Le type exact d'agrément nécessaire varie selon le pays de l'UE en question (Chapitre 3), et dépend des caractéristiques de l'usine tels que le pouvoir calorifique, le type de matière première, l'emplacement de l'usine, etc.

5.5.1 Normes pour l'étanchéité au gaz

Un certain nombre de normes (standards) sont utilisés dans l'industrie chimique pour la manipulation de substances dangereuses (toxiques ou inflammables) dans les tuyauteries et réservoirs. Les normes pour l'étanchéité au gaz fournissent de bonnes pratiques concernant les méthodes à mettre en oeuvre pour éviter les fuites de gaz, détecter les fuites, etc
Les mesures techniques concernant l'usage, la conception et la maintenance des tuyauteries sont disponibles sur le site Internet du Health and Safety Executive. Ces mesures sont reconnues comme étant de bonnes pratiques pour les sites classés Seveso II :
http://www.hse.gov.uk/comah/sragtech/techmeaspipework.htm

Même si les BGPs ne sont pas soumises à la réglementation Seveso II, les recommandations données en matière d'étanchéité au gaz peuvent être considérées comme applicables aux BGPs (telles que les valeurs de fréquences / gravité pour

l’évaluation des risques). Les normes présentées dans le Tableau 5.1 peuvent être appropriées.

Dans la législation allemande, quelques définitions et remarques sur les "unités étanches" sont disponibles :

- Dans le guide de bonne pratique à caractère non contraignant pour la mise en oeuvre de la Directive 1999/92/CE, cf. glossaire et chapitre 3.2.1/remarque sur zone 2
- Dans :
    - La réglementation technique allemande sur la sécurité industrielle : TRBS 2152 part 2, chapitre 2.4.3 ;
    - La réglementation technique allemande sur les substances dangereuses: TRGS 722, et ;
    - Les règles techniques du "Berufsgenossenschaften" (responsabilité de l’employeur, assurances / organisations professionnelles): BGR 104 "Explosion Protection" (des définitions et descriptions très similaires sont données dans ces documents).

La Réglementation Technique Allemande (German Technical Rules) fait une différence entre les unités "techniquement étanches" ("= technisch dicht") et les unités "techniquement étanches en permanence" (= "auf Dauer technisch dicht"). Dans ce dernier cas, aucune fuite de substance inflammable n’est envisagée, et le zonage n’est pas requis à proximité de cet équipement. TRBS 2152-2 etc. fournit des exemples de types de connexions qui sont considérées comme "techniquement étanches en permanence", ex. certains types de brides de raccordement de tuyauterie. Dans certains cas, des mesures techniques combinées à des mesures d’inspection et de maintenance régulières peuvent conduire à considérer un équipement comme "techniquement étanche en permanence".
Avec un équipement considéré comme "techniquement étanche", des fuites peuvent survenir en de rares occasions. Cela nécessitera en général une classification en zone 2 à proximité de l’équipement/connexion concerné.

Concernant les mesures de protection environnementales, la TA-Luft fournit des spécifications en terme de débit de fuite admissible pour les brides de raccord et les joints d’étanchéité (chapitre 5.2.6.3). Ces spécifications s’adressent aux émissions gazeuses de certains liquides organiques (volatiles or dangereux). Cependant, elles ne s’appliquent pas formellement au gaz de gazogène.
Concernant les exigences techniques, la TA-Luft se réfère aux réglementations VDI 2440 (pour brides de raccordement techniquement étanches) et EN 1591-2 pour la sélection et le design des brides de raccordement.
Ces standards peuvent également être utiles pour les brides de raccordement de tuyauterie contenant des gaz dangereux.

5.5.2 Littérature sur le zonage et les mesures de protection contre les explosions

Le site internet du Health and Safety Executive fournit des informations générales sur:

- Incendie et explosion:

www.hse.gov.uk/fireandexplosion/index.htm

- Réglementation ATEX (nommée DSEAR au Royaume Uni)

www.hse.gov.uk/fireandexplosion/atex.htm

- Guide sur la réglementation ATEX:

www.hse.gov.uk/pubns/indg370.pdf

- Zonage:

www.hse.gov.uk/fireandexplosion/zoning.pdf

Des directives sont également disponibles à partir de différentes sources. Celles-ci sont compilées dans le Tableau 5.2. Ces sources fournissent des informations sur les mesures de protection contre les explosions (ex. EN 1127-1:2007).

Pour les besoins de ce guide, les noms des normes Européennes (EN) ont été donnés, et les diverses dénominations nationales omises.

5.6 Documentation

5.6.1 Manuel d'opération et de maintenance

- Description technique du procédé pour les parties principales de l'usine (comme dans le chapitre 2), comportant un schéma du procédé (schéma PID)
- Description des systèmes automatisés et des stratégies et procédés de contrôle
- Spécifications techniques principales
- Coordonnées du constructeur
- Procédures d'opération et de maintenance
    - Mise en marche
    - Fonctionnement normal, y compris affichages et réglages
    - Fonctionnement automatique
    - Procédures d'urgence
    - Check-lists (tableau d'inspection et de maintenance: ce qu'il faut faire, où et quand)
    - Diagnostic des pannes
    - Maintenance
- Instruction HSE
    - Compétences des opérateurs
    - Description des dangers pendant :
        - le fonctionnement normal
        - les opérations d'inspection et de maintenance
        - les opérations de réparation ou de modifications

La plus grande partie des informations doit être fournie par le constructeur. Pour certains documents, comme le permis de construire, le constructeur doit fournir des informations sur demande. L'exploitant et le constructeur sont responsables de la mise à jour des documents en cas de modification de l'usine ou en cas de changement des procédures d'opérations et de maintenance, tels que l'ajustement des réglages, etc.

5.6.2 Autres documents

- Procédure d'urgence
  - Check-lists (que faire, où et quand)
  - Description des chemins d'évacuation
  - Contacts en cas d'accident
- Registre d'accidents
- Liste des pièces de rechange
- Journal de travail (si sous forme électronique, un système de secours doit être mis en place)
- Manuel de formation
- Description détaillée de l'usine (manuel de conception)
  - Description du procédé
  - Schéma PID des principales étapes du procédé (opération unitaire)
  - Liste des composants (contrôle des entrées / sorties)
  - Analyse HAZOP (si réalisée)
  - Rapport d'analyse des risques
  - Liste des moteurs
  - Liste des signaux
  - Aménagement
- Documentation des composants et schémas
- Permis (de construire, environnemental, label CE, etc.)

Le tableau 5.1 montre les éléments de la documentation qui doivent être fournies par le constructeur et par l'exploitant/propriétaire.

Tableau 5.1: Groupes cibles responsable pour la documentation

Document	***Constructeur***	***Exploitant***
Manuel d'opération et de maintenance	*X*	
Manuel de formation	*X*	
Mise à jour du manuel des opérations et de maintenance		*X*
Description et carte des chemins d'évacuation		*X*
Description détaillée de l'usine (Manuel de conception)	*X*	
Registre d'accidents		*X*
Registre de travail		*X*

Table 5.1: Normes pour l'étanchéité au gaz qui peuvent être applicables

Source	Name	Description
American Society of Mechanical Engineers (ASME) http://www.asme.org/	B31.3-2002 Process Piping	Petroleum refineries; chemical, pharmaceutical, textile, paper, semiconductor, and cryogenic plants; and related processing plants and terminals. Content and Coverage (a) This Code prescribes requirements for materials and components, design, fabrication, assembly, erection, examination, inspection, and testing of piping. (b) This Code applies to piping for all fluids, including: (1) raw, intermediate, and finished chemicals; (2) petroleum products; (3) gas, steam, air, and water; (4) fluidized solids; (5) refrigerants; and (6) cryogenic fluids. (c) See Fig. 300.1.1 for a diagram illustrating the application of B31.3 piping at equipment. The joint connecting piping to equipment is within the scope of B31.3. Packaged Equipment Piping. Also included within the scope of this Code is piping which interconnects pieces or stages within a packaged equipment assembly. Exclusions. This Code excludes the following: (a) piping systems designed for internal gage pressures at or above zero but less than 105 kPa (15 psi), provided the fluid handled is nonflammable, nontoxic, and not damaging to human tissue as defined in 300.2, and its design temperature is from -29°C (-20°F) through 186°C (366°F); (b) power boilers in accordance with BPV Code2 Section I and boiler external piping which is required to conform to B31.1; (c) tubes, tube headers, crossovers, and manifolds of fired heaters, which are internal to the heater enclosure; and (d) pressure vessels, heat exchangers, pumps, compressors, and other fluid handling or processing equipment, including internal piping and connections for external piping.
IGEM www.igem.org.uk	IGE/UP/1/New Edition 2 2003 Guide to non-domestic gas tightness testing and purging standards.	IGE/UP/1 (Edition 2) gives practical guidance to gas operatives when engaged in strength testing, tightness testing and purging gas pipework used in the non-domestic sector.
IGEM Energy Institute Publications http://www.igem.org.uk/Technical/energyinstitute.asp	IP Model Code of Safe Practice Part 13: Pressure piping systems examination	The purpose of this Code is to provide a guide to safe practices in the in-service examination and test of piping systems used in the petroleum and chemical industries. The Code gives general requirements regarding the provision and maintenance of adequate documentation, in-service examination, the control of modifications and repairs, examination frequency, protective devices and testing of piping systems. In many countries statutory requirements exist, both local and national, pertaining to the in-service examination of pressure vessels and, where this is so, this Code should be regarded as being complementary to such requirements.

British standards	BS 3636:1963 Methods for proving the gas tightness of vacuum or pressurized plant	Ten methods for application to evacuated plant, seven to pressurized plant. Five involve direct measurement of quantities but are insensitive or lengthy. Others use search gas and detectors sensitive to such gas. Four use vacuum gauges which may be able to serve another purpose on plant. Each method describes apparatus, special precautions, procedure, interpretation of results, working principles, sensitivity. Design of plant; contracts; blockage of capillary leaks; leak rates of different fluids; worked examples; safety precautions; bibliography; methods of leak location.
British standards	BS 4504-3.3:1989 Circular flanges for pipes, valves and fittings (PN designated). Specification for copper alloy and composite flanges	Types of flanges from PN 6 to PN 40 and in sizes up to DN 1800. Facings, dimensions tolerances, bolt sizes, marking and materials for bolting and flange materials with associated pressure/temperature ratings.
API	API 570 2nd Edition 1998 Piping Inspection Code	Covers inspection, repair, alteration, and rerating procedures for in-service metallic piping systems. Establishes requirements and guidelines that allow owner/users of piping systems to maintain the safety and mechanical integrity of systems after they have been placed into service. Intended for use by organizations that maintain or have access to an authorized inspection agency, repair organization, and technically qualified personnel. May be used, where practical, for any piping system. Piping inspectors are to be certified as stated in this inspection code.
API	API 510 - "Pressure Vessel Inspection Code: Maintenance Inspection, Rating, Repair, and Alteration"	Addresses the maintenance inspection, repair, alteration and re-rating procedures for pressure vessels used in the petroleum and chemical process industries.
API	API RP 572 - "Inspection of Pressure Vessels"	Addresses the inspection of pressure vessels. It includes a description of the various types of pressure vessels and the standards that can be used for their construction and maintenance.
API	API RP 574 - "Inspection Practices for Piping System Components, June 1998"	Addresses the inspection practices for piping, tubing, valves (other than control valves), and fitting used in petroleum refineries and chemical plants.
API	API RP 575 - "Inspection of Atmospheric and Low-Pressure Storage Tanks"	- Addresses the inspection of atmospheric storage tanks that have been designed to operate at pressures from atmospheric through 0.5 psig and inspection of low-pressure storage tanks that have been designed to operate at pressure above 0.5 psig but less than 15 psig.
Health and Safety Executive	Web site	http://www.hse.gov.uk/chemicals/spctechgen33.htm#App2

Tableau 5.2: Guide pour l'application des directives ATEX

Source	Name	Description
Energy Institute (leading professional body for the energy industries) http://www.energyinst.org.uk/index.cfm?PageID=1005#whatis	Model Code of Safe Practice Part 15: Area Classification Code for Installations Handling Flammable Fluids	*Model code of safe practice Part 15: The Area classification code for installations handling flammable fluids* (EI 15, formerly referred to as IP 15) is a well-established, internationally accepted publication that provides methodologies for hazardous area classification around equipment storing or handling flammable fluids in the production, processing, distribution and retail sectors. It constitutes a sector-specific approach to achieving the hazardous area classification requirements for flammable fluids required in the UK by the Dangerous Substances and Explosive Atmospheres Regulations (DSEAR) 2002 and in doing so, provides much more detail than BS EN 60079-10 *Electrical apparatus for explosive gas atmospheres: Classification of hazardous areas*. Note that the scope of EI 15 excludes hazardous area classification arising from dusts.
SHAPA (SHAPA has been the UK's leading specialist association for the solids handling and processing industry since its formation in 1981)	Practical Guidance for Suppliers and Operators of Solids Handling Equipment for Potentially Explosive Dusts Compliance with legislation implementing the ATEX Directives. http://www.shapa.co.uk/atex.php	The purpose is to provide practical guidance to manufacturers, suppliers and operators, when manufacturing, installing and operating equipment or systems that may require compliance with standards under the ATEX Directives, particularly in dusty atmospheres. A brief description of the two relevant ATEX Directives is included, together with their purpose and scope. Pdf document**:** http://www.shapa.co.uk/pdf/atex.pdf
Bundesministerium für Arbeit und Soziales (German Federal Ministry of Labour and Social Affairs)	TRBS 2152 "Gefährliche explosionsfähige Atmosphäre" (Technical Rules on hazardous explosive atmosphere)	TRBS 2152 (TRBS = Technische Regeln für Betriebssicherheit, Technical Rules on Workplace Safety) describe rules for protection against hazards from explosive atmospheres in the workplace. If these rules are followed, compliance with the German Regulations on Workplace Safety and Regulations on Hazardous Substances is assumed. TRBS 2152 is referred to in BGR 104, which gives a comprehensive description of the formation and prevention of hazardous explosive atmospheres, on potential sources of ignition and their prevention, and on constructive measures to mitigate the effects of explosions. BGR 104 contains a detailed list of practical examples of ex-zones and safeguards, taking various factors (e.g. ventilation, source strength) into account.
DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung), (former HVBG)	BGR 104: Explosionsschutz-Regeln (EX-RL) – Regeln für das Vermeiden der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre mit Beispielsammlung (explosion protection rules with practical examples)	
European commission	Guidance on ATEX Directive 94/9/EC	http://ec.europa.eu/enterprise/atex/guide/index.htm Harmonized guideline: http://ec.europa.eu/enterprise/atex/guide/atexguidelines_august2008.pdf

		Considerations PAPERS by the ATEX Standing Committee on How to apply the Directive: http://ec.europa.eu/enterprise/atex/standcomm.htm
European commission	Guidance on ATEX Directive 1999/92/EC	COMMUNICATION FROM THE COMMISSION concerning the non-binding guide of good practice for implementing Directive 1999/92/EC of the European Parliament and of the Council on minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres: **http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2003:0515:FIN:EN:PDF** [available in other languages, too; search http://eur-lex.europa.eu for COM(2003) 0515 document]
European standard	EN 1127-1 Explosive atmospheres - Explosion prevention and protection - Basic concepts and methodology	Explosive atmospheres, Fire risks, Explosions, Hazards, Classification systems, Ignition, Surfaces, Flames, Electric sparks, Gases, Particulate materials, Electrostatics, Electric current, Lightning, Electromagnetic radiation, High frequencies, Ignitability, Ionizing radiation, Ultrasonics, Chemical hazards, Design, Ventilation, Protected electrical equipment, Hazardous areas classification (for electrical equipment), Dust, Fire safety, Flame traps, Safety measures, Instructions for use, Marking, Hand tools, Control equipment, Electrical safety, Risk assessment
European standard	EN 60079-10 Electrical apparatus for explosive gas atmospheres Part 10: Classification of hazardous areas	The standards EN 60079-10 and EN 61241-10 explain the basic principles of area classification for gases and vapours and for dusts, respectively. These standards form a suitable basis for assessing the extent and type of zones, and can be used as a guide to complying with the national requirements towards explosion protection. However, they cannot give the extent and type of zone in any particular case, as site-specific factors should always be taken into account
European standard	EN 61241-10 Electrical apparatus for use in the presence of combustible dust - Classification of areas where combustible dusts are or may be present	

6 Réduction des émissions des usines de gazéification de biomasse

Tel que cela a été mentionné dans la partie 3.6, des réponses doivent encore être apportées aux questions suivantes, en prenant en compte les aspects environnementaux et économiques :

- Quelles techniques de réduction des émissions utilisées dans les applications de combustion standard peuvent être transposées avec succès aux usines gazéification de biomasse de petite échelle ? Et ;
- Quelles valeurs limites d’émissions peuvent être atteintes ?

6.1 Techniques de réduction d’émissions

Dans ce chapitre, la description des émissions et des techniques de réduction d'émission fait référence aux opérations unitaires d'une usine de gazéification de biomasse décrites dans le chapitre 2.

Les principales voies d'émissions pour les usines de gazéification peuvent être les suivantes:

Source d'émission	Substances									
Vers: Air (A), Eau (E), Sol (S)	Matières particulaires	Oxides de soufre	Oxides d'azote	Oxides de carbone	Composés organiques	Acides/Bases/Sels	Composés organiques volatiles	Sulfure d'hydrogène	Ammoniac	Métaux et leur sels
Stockage et manipulation du combustible	A				A E L		A			
Traitement des eaux	E				E	E				E
Manipulation des scories/cendres	A									
Manipulation et traitement des gaz	A	A	A	A	A		A	A	A	
Récupération des sels	A				S E					
Traitement des eaux usées	E			A	E	E				
Drainage du site (eaux de pluie incluses)	E				E					
Purge de la chaudière	E					E				

Figure 6.1 Principales voies d'émissions pour la gazéification [30]

6.1.1 Stockage du combustible, pré-traitement, transport et alimentation

Une description des émissions potentielles et des techniques de réduction des émissions pour le stockage et la manipulation de combustibles solides a récemment été compilée par le Nordic Innovation Centre [31].
Les poussières de combustibles solides peuvent contenir de grandes quantités de microspores d'actinomycètes (bactérie avec un type de croissance similaire aux champignons) et de moisissures (champignons à croissance rapide), qui peuvent trouver dans la biomasse humide (ex. copeaux de bois) un environnement favorable à leur croissance.
Ces microspores peuvent facilement être inhalées et peuvent causer des réactions allergiques et des alvéolites. Les spores peuvent devenir des aérogènes lors de la manipulation de la biomasse.
Un moyen d'éviter la croissance microbienne et de réduire les émissions de microspores consiste à stocker uniquement de la biomasse sèche (<20% d'humidité), ce qui empêche l'humidification du matériel stocké. En cas de stockage en extérieur, il est important d'utiliser les piles (empilements) de combustible ou matériel brut selon la durée de stockage, le stockage plus âgé devant être utilisé en premier (principe FIFO: First-in – First-out) [31]. La durée de stockage de la biomasse humide doit être réduite le plus possible.
Si de larges quantités de biomasse concassée sont stockées dans un espace clos (ex. silos), des quantités importantes de CO peuvent être formées [31].
Lorsque de la biomasse sèche est traitée mécaniquement ou convoyée, des poussières peuvent être émises.
L'utilisation de systèmes de convoyage clos peut contribuer à réduire les émissions de poussières. Tel qu'il a été décrit dans la partie 5.4.1, un bon entretien des locaux (qui comprend le dépoussiérage) sera un élément clé pour éviter l'auto-inflammation de couches de poussière sur les surfaces chaudes et prévenir les explosions de poussières.

6.1.2 Gazogène

Le fonctionnement d'un gazogène à pression ambiante ou à faible sous pression contribuera en général à prévenir les émissions de gaz du réacteur. Un réacteur conçu pour éviter les fuites de gaz et les écoulements incontrôlés de gaz du/vers le réacteur est habituellement requis pour assurer un fonctionnement stable du réacteur et une bonne qualité du gaz de gazogène.
Les vannes rotatives, trémies à sas à double organe de fermeture ou systèmes similaires sont souvent utilisés pour prévenir les retours de flamme et les écoulements de gaz de gazogène du gazogène vers la ligne d'alimentation en biomasse, évitant ainsi des émissions de gaz de gazogène en cas de perturbations dans les systèmes de lavage et/ou d'utilisation du gaz.
Pendant la mise en route et l'arrêt du gazogène, la composition du gaz de gazogène peut ne pas être adéquate pour son utilisation dans un moteur à gaz. Dans ces situations, ainsi que pendant les périodes où le moteur à gaz est temporairement indisponible, une torchère ou un dispositif similaire peut être utilisé pour brûler le gaz de gazogène (cf. chapitre 5.3.2) de façon à éviter son échappement dans l'atmosphère.
Le retrait des cendres du réacteur peut être une source d'émission de poussières. Si des cendres riches en carbone sont produites, des mesures supplémentaires seront requises pour prévenir l'auto-inflammation des cendres au contact de l'air. Les

systèmes humides de retrait de cendre peuvent s'avérer utiles pour atteindre ces deux objectifs.

6.1.3 Refroidissement et lavage de gaz

À moins que le gazogène ne produise un gaz très propre, le retrait des goudrons et des poussières du gaz de gazogène sera requis pour permettre un fonctionnement fiable et sans perturbation du moteur à gaz. Comme décrit dans les chapitres 2.5 et 2.6, le lavage du gaz brut peut être réalisé par une combinaison de cyclones et de filtres (secs) ou de scrubber (humide), occasionnellement complétée par des électrofiltres. Cela minimisera la quantité de grosses molécules de goudrons (ex. hydrocarbures aromatiques polycycliques) dans le gaz à être utilisé par le moteur à gaz, mais peut ne pas être efficace pour les composés organiques à forte pression de vapeur (ex. benzène).

Si des quantités importantes d'ammoniac sont présentes dans le gaz de gazogène brut, leur retrait (lavage du gaz à l'eau) sera requis pour prévenir la formation de fortes concentrations de NO_x dans le moteur à gaz.

Si des résidus liquides sont produits dans l'unité de lavage des gaz qui contiennent des quantités significatives d'hydrocarbures, ceux-ci peuvent être réinjectés dans le gazogène ou autres unités pour leur conversion thermique. Si les liquides sont composés en grande partie d'eau, ils peuvent être traités à l'aide de filtres à charbon actifs avant d'être déversés dans le système d'égout. Autrement, il peut être nécessaire de traiter ces liquides comme des déchets destinés à être traités hors site.

6.1.4 Fonctionnement du moteur à gaz et du lavage des gaz d'échappement

Le bruit et les gaz d'échappement constituent les sources d'émission les plus importantes d'un moteur à gaz. Les émissions sonores des machines sont limitées en installant le moteur à gaz dans un local séparé équipé de panneaux d'absorption phonique et en utilisant des silencieux sur l'alimentation en air et les lignes de gaz d'échappement.

Les émissions de gaz d'échappement ont été décrites dans les chapitres 2.7 et 2.8. Le traitement des gaz d'échappement via diverses techniques, impliquant des convertisseurs catalytiques et la postcombustion, est possible pour la réduction d'un composé unique des gaz d'échappement (ex. CO, NO_x, benzène, hydrocarbures non brûlés).

Une expérience à long terme de l'efficacité et de la durée de vie des convertisseurs catalytiques utilisés dans les BGP n'est pas encore disponible. La durée de vie des catalyseurs est fonction des poisons catalytique potentiels (ex. métaux lourds, composés alcalins, etc.) qui peuvent réduire l'activité de la couche catalytique.

À cause du phénomène de "gas slip" dans les moteurs à combustion interne, une fraction (environ 1%) du gaz de gazogène peut passer dans le moteur sans être brûlée. De plus, la combustion des composés azotés (ex; ammoniac) produira des NO_x. Cela peut être réduit par un fonctionnement du moteur avec un mélange de gaz pauvre (i.e. concentration en oxygène du mélange gaz/fuel relativement élevée), ce qui peut réduire la température des gaz d'échappement.

Cependant dans ces conditions, les émissions de CO ont tendance à augmenter. Certains composés du gaz de gazogène peuvent donc nécessiter une combinaison

de techniques de lavage de gaz pour le gaz de gazogène et les gaz d'échappement de façon à réduire les émissions de gaz à un niveau acceptable.

6.2 Valeurs limites d'émission

Dans la plupart des pays Européens, les législations nationales qui contiennent des valeurs limites d'émission pour les moteurs à gaz ne traitent pas en particulier des moteurs alimentés en gaz issus de la gazéification de la biomasse. Les permis environnementaux dans ces pays sont établis sur les valeurs limites d'émission qui ont été établies dans des réglementations émises pour d'autres types de combustibles (ex. biogaz).

Le fait que les valeurs limites d'émission établies pour d'autre gaz dans ces réglementations reflètent la meilleure technique disponible (BAT) à présent pour la réduction des émissions des moteurs à gaz alimentés en gaz issus de la gazéification de la biomasse reste ouvert à la discussion. Certains paramètres clés des procédés utilisés sont différents. Par exemple, la composition en CO du gaz, et donc les valeurs limites d'émission basées sur les techniques disponibles et prouvées de combustion standard (ex. gaz sans CO) peut ne pas être applicable aux BGPs de petite échelle.

De plus l'efficacité à long terme des techniques de réduction des émissions fait encore l'objet d'études. Il sera donc nécessaire de déterminer des valeurs limites d'émission appropriées pour les BGPs de petite échelle à partir de l'expérience acquise par les usines en fonctionnement et par les mesures réalisées au niveau de ces usines.

6.2.1 Valeur limites d'émission au Danemark

Au Danemark, des valeurs limites d'émission spécifiques aux moteurs à gaz alimentés en gaz issus de la gazéification de biomasse (classée comme déchet) ont été établies en 2005[8]. Ces valeurs limites d'émission pour NO_x, hydrocarbures non-brûlés, CO, et odeurs sont présentées ci-dessous (état de référence: gaz d'échappement sec dans des conditions standards, 5% O_2, excepté pour les odeurs – composition réelle en O_2):

- NO_x: 550 mg/m^3
- UHC: 1500 mg C/m^3 (valide pour 30% d'efficacité électrique)
- CO: 3000 mg/m^3
- odeur: 20000 unités d'odeur /m^3

Dans des applications de combustion, la concentration en CO des gaz de combustion est souvent utilisée comme un indicateur de l'efficacité de la combustion

[8] BEK 621 of 23/06/2005 (Order about limitation of emission of nitrogen oxides, uncombusted hydrocarbons, carbon monoxide etc. from engines and turbines)

'facile à mesurer'. Une attention particulière est également portée à la limitation de substances dangereuses telles que les hydrocarbures aromatiques polycycliques.
Au Danemark, des mesures réalisées au niveau des gaz d'échappement de moteurs à gaz utilisés dans des usines de gazéification de biomasse faisant l'objet d'une exploitation commerciale [32] ont montré des niveaux d'émissions d’hydrocarbures aromatiques polycycliques très faibles, quelle que soit la composition en CO des gaz d'échappement qui est principalement causée par des phénomènes de "gas slip" dans le moteur. Par conséquent, une valeur limite d'émission de CO relativement élevée a été fixée par la réglementation Danoise pour les moteurs à gaz fonctionnant avec des gaz de gazogènes (Pour la *combustion* du gaz de gazogène, les valeurs limites d'émission danoises sont considérablement plus faibles).
Une valeur limite pour les émissions olfactives ont été introduites au Danemark suites aux problèmes d'odeurs (venant des aldéhydes) liés aux gaz d'échappement des moteurs à gaz alimentés en gaz naturel [32].

6.2.2 Valeur limites d'émission en Allemagne

En Allemagne, les réductions d'émission requises pour les BGPs, établies dans les procédures d'autorisation, dépendent des facteurs suivants:

- du fait que la construction et l'exploitation de l'usine soient sujets à l'obtention d'un permis selon la réglementation sur le contrôle des émissions (permis environnemental) (ce qui est le cas des BGPs de 1 MW ou plus)
- du fait que l'usine n'a besoin que d'un permis de construire.

Selon la législation Allemande, l'exploitation d'une usine sujette à un permis environnemental ne doit ni causer des effets néfastes sur l'environnement ni causer des émissions excédant les valeurs limites (comme stipulé par ex. dans la Directive sur la Qualité de l'Air Ambiant 2008/50/CE et dans le guide administratif Allemand sur l'évaluation des odeurs dans l'air ambiant). Les émissions d'une BGP en association avec d'autres sources d'émission (ex. trafic routier, combustion du bois) ne doivent pas résulter en une concentration en benzène dans l'air ambiant excédant 5 µg/m³ (moyenne annuelle) dans la zone d'influence de la BGP. Pareillement, les odeurs spécifiques à l'usine ne doivent pas être perceptibles pendant plus de 10% des heures de fonctionnement par année (ou 15 %, dépendant du type d'utilisation des sols). De plus, des mesures de réduction des émissions basées sur les meilleures techniques disponibles (BAT) sont requises.
Dans l'objectif de limiter les émissions de gaz d'échappement des moteurs à gaz, les autorités allemandes en charge de la délivrance du permis stipuleront les valeurs limites d'émission listées ci-dessous, découlant des exigences de la TA-Luft[9] pour les moteurs à gaz alimentés au biogaz:

- Monoxyde de Carbone (CO): 650mg/m³

[9] "Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA-Luft)"; Technical Instructions on Air Quality Control, July 2002

- Oxydes d'azotes (NO_x), établis tel que NO_2: 500 mg/m³
- Formaldéhyde (HCOH): 60 mg/m³
- Benzène: 1 mg/m³
- Poussières: 20 mg/m³

L'expérience a montré que même des concentrations en benzène inférieures à 3 mg/m^3 dans les gaz d'échappement purifiés nécessiteront l'usage de quantités de catalyseurs oxydants relativement importantes. Par conséquent, la valeur de 1 mg/m^3 pour le benzène est actuellement considérée comme valeur limite d'émission par de nombreuses autorités.

Comme mentionné plus haut, l'exploitant d'une usine *non sujette à un permis environnemental* en Allemagne doit s'assurer quelconque e effet néfaste sur l'environnement, qui puisse être évité en utilisant les meilleures techniques disponibles (BAT), sera évité et que les effets néfastes inévitables soient maintenus à un niveau minimal via des mesures de réduction d'émissions basées sur les BAT. L'existence d'effets négatifs sur l'environnement (ex. émissions de benzène ou d'odeurs) dépendra essentiellement [33]:

- du débit de gaz d'échappement et de la concentration des émissions dans ce gaz ;
- de l'altitude à laquelle le gaz est relâché dans l'atmosphère et du fait que ce dégagement de gaz soit localisé ou non dans de l'air en écoulement libre (non perturbé) ;
- de la distance du voisinage ;
- de la fréquence à laquelle du gaz de gazogène qui ne peut pas être utilisé par le moteur à gaz (pendant la mise en route ou l'arrêt de l'usine) est relâché dans l'atmosphère sans être brûlé ;
- de la qualité de l'étanchéité des équipements contenant des substances à fortes odeurs (gaz de gazogène brut, liquide de lavage des gaz, résidus goudronneux)

Selon une recommandation donnée par la German Environmental Agency[10] [33], l'autorité en charge de la délivrance du permis peut en général supposer sans examen supplémentaire qu'une BGP ne causera pas d'effets néfastes sur l'environnement liés aux émissions de benzène si ces émissions n'excèdent pas un débit massique de 5 g/h stipulé dans la section 4.6.1.1 du TA-Luft concernant des émissions diffuses. Ce sera le cas des usines de moins de 100 kWe (correspondant à un débit de gaz d'échappement inférieur à 500 m^3/h dans des conditions standard de température et de pression) si la concentration en benzène dans le gaz d'échappement purifié est inférieure à 10 mg/m^3, garantie par exemple en utilisant un catalyseur oxydant.

En général, des conditions supplémentaires devront être remplies, par exemple:.

- obtention d'un certificat délivré par le constructeur affirmant que:

---

[10] Recommendation by the Bavarian Environmental Agency (LfU Bayern)

    - Le design (conception) de l'usine permettra d'atteindre une concentration en benzène inférieure à 10 mg/m³ (vérification par des mesures réalisée par un organisme habilité),
    - Le gaz de gazogène non utilisé par le moteur à gaz sera brûlé avec les mesures de sécurité adéquates, la concentration en CO des fumées inférieure à 2 g/m³ (vérification par des mesures qui peuvent être réalisées lors des opérations de ramonage en Allemagne), excepté pour les opérations de mise en route ou d'arrêt de moins de 5 minutes une seule fois par semaine, et ;
    - Aucun développement supplémentaire de la BGP, impliquant des opérations de mise en route ou d'arrêt supplémentaires, ne sera nécessaire.
- Contrôle annuel du bon fonctionnement du catalyseur (réduction en CO > 70 %), vérification faite par des mesures de la concentration en CO en amont et en aval du catalyseur (peut être réalisé lors des opérations de ramonage en Allemagne).

7 Références

[1] Timmerer H. L., Lettner F.: Leitfaden - Anlagensicherheit und Genehmigung von Biomassevergasungsanlagen (Projektendbericht), Energiesysteme der Zukunft, Nr. 807786, 2005.
[2] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM M 7132: Energiewirtschaftliche Nutzung von Holz und Rinde als Brennstoff, Begriffsbestimmung und Merkmale; Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1998.
[3] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM M 7133, Holzhackgut für energetische Zwecke, Anforderungen und Prüfbestimmungen; Österreichisches Normungsinstitut, Wien, 1998.
[4] Nussbaumer Th., Neuenschwander P., Hasler Ph., Bühler R.: Energie aus Holz - Vergleich der Verfahren zur Produktion von Wärme, Strom und Treibstoff aus Holz. Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern (CH)1997, 153 Seiten, 1997.
[5] Europäisches Parlament und Rat: Richtlinie der europäischen Union 67/548/EWG über Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe unter den entsprechenden Änderungen der Richtlinie 1999/33/EG, Richtlinie 2001/59/EG sowie Richtlinie 92/32/EWG, 2001.
[6] Republik Österreich: BGBl. II Nr. 253/2001 i.d.F BGBl. II Nr. 184/2003 und BGBl. II Nr. 119/2004: Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über krebserzeugende Arbeitsstoffe (Grenzwerteverordnung 2003 - GKV 2003), Anhang I/2003: Stoffliste, 2003.
[7] Armstrong B., Hutchinson E., Fletcher T.: Cancer risk following exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs): a meta-analysis, London School of Hygiene and Tropical Medicine for the Health and Safety Executive, 2003.
[8] Steinbach J., Antelmann O., Lambert M.: Methoden zur Bewertung des Gefahrenpotentials von verfahrenstechnischen Anlagen, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitssschutz und Arbeitsmedizin, Berlin-Dortmund, 1991.
[9] Steen H.: Handbuch des Explosionsschutzes, Wiley-VCH, Willingdon/England, 2000.
[10] Kühnreich K., Bock F.-J., Hitzbleck R., Kopp H., Roller U., Woizischke N.: Ermittlung und Bewertung des Gefahrenpotentials für Beschäftigte in verfahrenstechnischen Anlagen und Lagereinrichtungen, Berlin-Dortmund, 1998.
[11] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1050, "Sicherheit von Maschinen - Leitsätze zur Risikobeurteilung", 1997.
[12] Österreichisches Normungsinstitut: ÖNORM EN 1127 T1, "Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz, Teil 1: Grundlagen und Methodik", 1997.
[13] Siebenhofer M.: Sicherheitstechnik verfahrenstechnischer Anlagen; VTU Engineering - TU Graz; Vorlesungsskriptum; Grambach/Graz, 2003.
[14] Standard IEC: IEC 812/1985 - Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effect analysis FMEA, 1985.
[15] EKSC-Switzerland: Sicherheit: Einführung in die Risikoanalyse – Systematik und Methoden; Schriftenreihe Heft 4; Expertenkommission für die Sicherheit der chemischen Industrie in der Schweiz, 1996.
[16] Timmerer H., Lettner F.: Overview - Risk Assessment of Biomass Gasification Plants, International Workshop on HSE, Innsbruck, 2005.

[17] Timmerer H L: Anlagensicherheit und Prozessführung für thermische Biomassevergasungs-KWK-Anlagen mit gestufter Gaserzeugung, Institut für Wärmetechnik, TU Graz, 2007.
[18] Rogers R. L.: RASE Project Explosive Atmosphere: Risk Assesment of Unit Operations and Equipment; Methodology for the risk Assesment of Unit Operations and Equipment for Use in potential Explosive Atmosphere, March 2000.
[19] SHAPE-RISK: Sharing Experience on Risk Management (Health, Safety and Environment) to design Future Industrial Systems, 6th Framework Programm, 2007.
[20] Timmerer H.: Overview - Risk Assessment at Biomass Gasification Plants; Project Gasification Guide; Intermediate Report; Graz University of Technolgy; Institute of Thermal Engineering, 2007.
[21] Timmerer H., Lettner F.: Gasification Guide - Guideline for safe and eco-friendly Biomass Gasification, Projektantrag und Präsentationsunterlagen, Kickoff Meeting, Berlin, 2007.
[22] Cusco L.: Standards - Good practice & goal setting, UK regulatory approach, UK HSE Laboratory; Conference Paper, IEA - ThermalNet meeting, Innsbruck, 2005.
[23] Hummelshoj R.; Garde, F.; Bentzen, J.D.: Miljøprojekt 112 - Risk assessment at biomass gasification plants; Denmark Standardisation; COWI Consulting Engineers and Planners AS, 2006.
[24] DIN 6779-10, Kennzeichnungssystematik für technische Produkte und technische Produktdokumentation - Teil 10: Kraftwerke, 2007-04.
[25] EN 61346-1, Industrial systems, installations and equipment and industrial products. Structuring principles and reference designations. Part 1: Basic Rules, 1998-01-14.